Environnement Canada
Conservation et Protection
Direction des eaux intérieures et des terres
Région du Québec

Environment Canada
Conservation and Protection
Inland Waters and Lands Branch
Quebec Region

ÉTUDE SUR

L'EUTROPHISATION DE LA BAIE MISSISQUOI

Par :

André Germain, Francois Lavoie et Mario Janson

1987

Canada

RESUME

En 1979, la Direction générale des eaux intérieures, région du Québec, établissait un réseau de surveillance de la qualité des eaux de rivières et de lacs transfrontaliers. Des concentrations élevées en phosphore et un cas de floraison d'algues signalé en 1981 semblaient indiquer que la rivière aux Brochets était majoritairement responsable de l'eutrophisation de la baie.

En 1983, nous avons réalisé une étude sur les substances nutritives et la qualité de l'eau dans le bassin de la baie Missisquoi. Nous avons calculé que les apports des rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche étaient de 66 587kg, 36 764kg et 1 673kg respectivement. Hormis la rivière aux Brochets qui montre une dégradation le long de son parcours, les deux autres rivières ne présentent pas de variations importantes sur les gradients longitudinaux et spatiaux.

Les teneurs des matières solides en suspension sont élevées dans les trois rivières et indiquent qu'il y a des problèmes d'érosion. Cette érosion est la cause principale des apports en phosphore à la baie. Si nous voulons y améliorer la qualité de l'eau, une réduction des apports est nécessaire et peut être réalisée par une modification des pratiques agricoles.

ABSTRACT

A water quality sampling network for transboundary rivers and lakes was established by the Inland Waters Directorate, Quebec Region in 1979. High Phosphorus concentrations and an algal bloom in Pike River, in 1981, showed that this river was probably responsible for the eutrophication of Missisquoi Bay.

In 1983 a study regarding nutrients and water quality was conducted in the Missisquoi Bay watershed. Nutrient loadings were calculated for Missisquoi, Pike and Rock Rivers. They gave total amounts of 66 587, 36 764 and 1 673 kg/year respectively. Pike River showed a downstream degradation of water quality while the other two rivers did not show any significant downstream or cross-section variation.

Suspended sediment values were high in the three rivers and are indicative of erosional problems. Erosion in turn seems to be the main source of high Phosphorus loadings entering the Bay. To improve the water quality of the Bay, nutrient loadings have to be reduced and this can be realized through a change in actual agricultural practices.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont travaillé de près ou de loin à la réalisation de ce rapport, soit:

- le personnel du laboratoire de la qualité de l'eau de la région du Québec

- le personnel des Relevés hydrologiques du Canada, région du Québec

- les dessinateurs qui ont préparé les cartes et les figures apparaissant dans ce rapport

et particulièrement, Messieurs L. Désilets, R. Kwiatkowski, C. Langlois, J.-Y. Pelletier et H. Sloterdijk qui ont commenté les versions provisoires de ce rapport.

Il ne faudrait pas passer sous silence la patience de Mesdames L. Morency, D. Brulé et L. Duchesneau qui ont dactylographié les différentes versions de ce rapport.

TABLE DES MATIERES

PAGE

Résumé iii
Abstract iv
Remerciements v
Table des matières vii
Liste des Tableaux ix
Liste des Figures xi
Liste des Annexes xiii

1.0 INTRODUCTION 1

2.0 TERRITOIRE A L'ETUDE 3

2.1 Géographie et limites 3
2.2 Géologie 5
2.3 Hydrologie et morphométrie 10
2.4 Activités humaines 10

3.0 METHODOLOGIE 12

3.1 Localisation des stations 12
3.2 Variables analysées 12
3.3 Echantillonnage 16
3.4 Analyses en laboratoire 17
3.5 Compilation et interprétation 17

4.0 RIVIERE MISSISQUOI 19

4.1 Débit 19
4.2 Qualité physico-chimique générale de l'eau 19
4.3 Eléments nutritifs 25

5.0 RIVIERE AUX BROCHETS 33

5.1 Débit 33
5.2 Qualité physico-chimique générale de l'eau 33
5.3 Eléments nutritifs 38

6.0 RIVIERE DE LA ROCHE 45

6.1 Débit 45
6.2 Qualité physico-chimique générale de l'eau 45
6.3 Eléments nutritifs 48

PAGE

7.0 BAIE MISSISQUOI 55

7.1 Qualité physico-chimique générale de l'eau 55
7.2 Productivité et éléments nutritifs 59

8.0 DISCUSSION 63

9.0 CONCLUSION 69

10.0 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 71

LISTE DES TABLEAUX

PAGE

Tableau 1: Caractéristiques morphométriques et hydrologiques de la baie Missisquoi. 9

Tableau 2: Méthodes analytiques, numéro NAQUADAT et limites de détection pour les variables analysées en 1983. 15

Tableau 3: Principes directeurs pour différentes utilisations de l'eau 18

Tableau 4: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées à la rivière Missisquoi en 1983. 21

Tableau 5: Rapport Nt/Pt pour les stations de la rivière Missisquoi échantillonnées en 1983. 30

Tableau 6: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées à la rivière aux Brochets et aux ruisseaux aux Castors et Ewing en 1983. 36

Tableau 7: Rapport Nt/Pt pour les stations de la rivière aux Brochets échantillonnées en 1983. 42

Tableau 8: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées à la rivière de la Roche en 1983. 46

Tableau 9: Rapport Nt/Pt pour les stations de la rivière de la Roche analysées en 1983. 53

PAGE

Tableau 10: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées à la baie Missisquoi en 1983..... 56

Tableau 11: Rapport Nt/Pt pour les stations de la baie Missisquoi échantillonnées en 1983..... 66

Tableau 12: Débits massiques en phosphore total (QPt) aux embouchures des rivières Missisquoi (9128), aux Brochets (9153) et de la Roche (9160)..... 67

LISTE DES FIGURES

PAGE

Figure 1: Localisation du bassin versant de la baie Missisquoi. 4

Figure 2: Géologie de la roche de fond des bassins versants des rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche (côté canadien)..... 6

Figure 3: Localisation des stations d'échantillonnage du bassin de la baie Missisquoi (1979-1983)..... 14

Figure 4: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (station 9128) en 1983..... 20

Figure 5: Variations temporelles des teneurs en éléments nutritifs et des débits au centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (station 9128) en 1983..... 24

Figure 6: Variations longitudinales du phosphore total et de l'azote total à la rivière Missisquoi en 1983..... 27

Figure 7: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de l'embouchure de la rivière aux Brochets (station 9153) en 1983..... 34

Figure 8: Variations des teneurs en éléments nutritifs et des débits au centre de l'embouchure de la rivière aux Brochets en 1983..... 39

Figure 9: Variations longitudinales du phosphore total et de l'azote total à la rivière aux Brochets et aux ruisseaux Ewing et au Castor..... 40

PAGE

Figure 10: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de l'embouchure de la rivière de la Roche (station 9160) en 1983..... 47

Figure 11: Variations des teneurs en éléments nutritifs et des débits au centre de l'embouchure de la rivière de la Roche en 1983..... 49

Figure 12: Variations longitudinales du phosphore total et de l'azote total à la rivière de la Roche en 1983..... 51

Figure 13: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de la baie Missisquoi (station 9157) en 1983..... 57

Figure 14: Variations de la productivité primaire et des éléments nutritifs au centre de la baie Missisquoi (station 9157) en 1983..... 58

ANNEXES

PAGE

Annexe 1: Description des stations NAQUADAT du bassin versant de la baie Missisquoi..... 75

Annexe 2: Variations temporelles et spatiales de différents paramètres physico-chimiques..... 79

1. INTRODUCTION

Un des mandats de la Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, est d'étudier les lacs et les cours d'eaux transfrontaliers Canada-Etats-Unis. L'évaluation et la surveillance de ces eaux a pour but de mieux gérer la ressource en eau, afin d'en permettre la meilleure utilisation.

Nous avons réalisé, suite à l'établissement d'un réseau de surveillance de la qualité de ses eaux en 1979, que la baie Missisquoi du lac Champlain présentait des symptômes d'eutrophisation. Par la suite, une floraison d'algues à la baie Missisquoi en juillet 1981 mettait en évidence cet état trophique.

A l'automne de l'année 1982 Environnement Canada concluait une entente avec l'Etat du Vermont (Department of Water Resources and Environmental Engineering) qui permettait d'effectuer des échantillonnages du côté américain du bassin hydrographique de la baie Missisquoi. Simultanément les américains échantillonnaient quelques stations situées dans la partie sud de la baie de leur côté de la frontière. Cet accord a permis d'analyser plus spécifiquement les causes de l'eutrophisation de la baie Missisquoi en réalisant une étude d'un an en 1983 sur le problème des substances nutritives et de la qualité de l'eau dans le bassin hydrographique de la baie Missisquoi.

Ce rapport cherche à rencontrer quatre (4) objectifs:

1) évaluer les charges massiques en substances nutritives (phosphore total) aux entrées et à la sortie de la baie Missisquoi en 1983

2) étudier la variation spatiale de la qualité de l'eau des 3 principaux tributaires de la baie: les rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche en 1983

3) analyser la qualité de l'eau de la baie et des rivières en regard de problèmes d'eutrophisation

4) comparer la qualité de l'eau du bassin de la baie Missisquoi en 1983 à celle des années précédentes.

2.0 TERRITOIRE A L'ETUDE

La baie Missisquoi est située à 70 km à vol d'oiseau au sud-sud-est de Montréal sur la frontière Québec-Vermont (figure 1). Elle représente la fraction canadienne du lac Champlain, qui a comme exutoire la rivière Richelieu située au Québec.

2.1 Géographie et limites

Le territoire situé en bordure de la baie Missisquoi est majoritairement plat, déboisé et marécageux près de l'embouchure des différents cours d'eau qui s'y jettent. Vers l'est en s'éloignant de la baie, la forêt prend de l'ampleur au détriment de l'agriculture et de la villégiature; le terrain devient montagneux.

Le bassin versant de la baie Missisquoi et de ses tributaires est limité à l'ouest et au nord par celui de la rivière Richelieu, au nord-est par celui de la rivière Yamaska, à l'est par le bassin de la rivière Saint-François et au sud par celui de la rivière Lamoille qui se jette dans la baie Mallets du lac Champlain. Ce territoire couvre une superficie de 3146 km^2 répartie entre le Canada (42%) et les Etats-Unis (58%).

La rivière Missisquoi est le plus important des tributaires de la baie Missisquoi. Cette rivière prend sa source via deux branches situées près de Lowell (Vermont) et Eastman (Québec) qui se joignent du côté canadien un peu avant Highwater (fig. 3). Elle poursuit son cours et traverse aux Etats-Unis à la hauteur d'East Richford et coule vers l'ouest pour déboucher du côté sud de la baie Missisquoi près de Swanton. Ce cours d'eau s'étale sur 142 km de longueur, possède une pente moyenne de 5,17 m/km et draine un bassin d'une superficie de 2231 km^2, partagé à raison de 29% au Québec et 71% au Vermont (Agency of Environmental Conservation, 1976; Choinière, 1984). Le côté canadien est majoritaire-

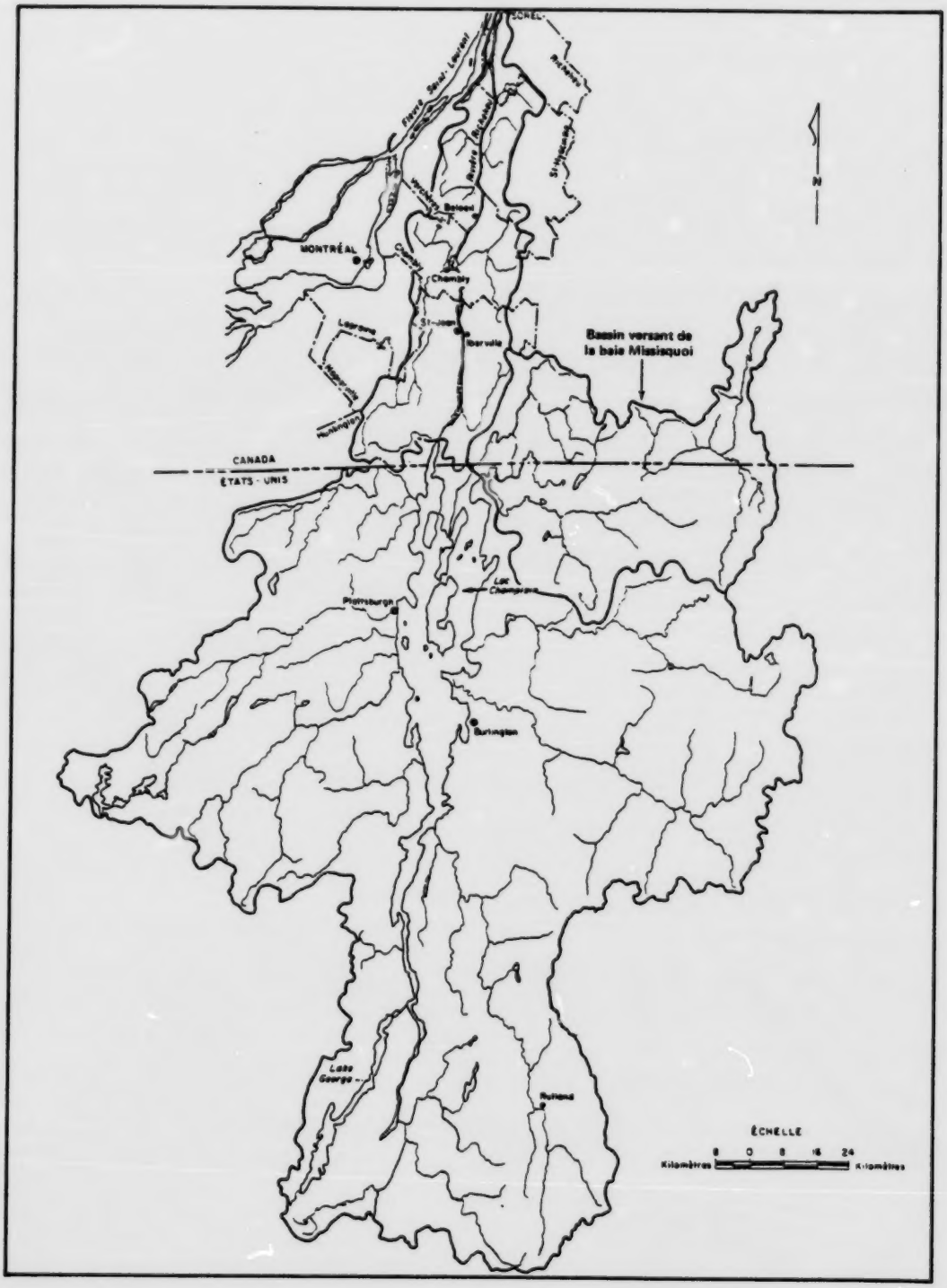


Figure 1
Localisation du bassin versant de la baie Missisquoi

ment boisé (90%) alors que l'agriculture et la villégiature occupent le reste du territoire. Du côté américain le bassin de drainage est moins densément boisé (70%) alors que l'agriculture et les municipalités occupent une plus grande partie du territoire (30%).

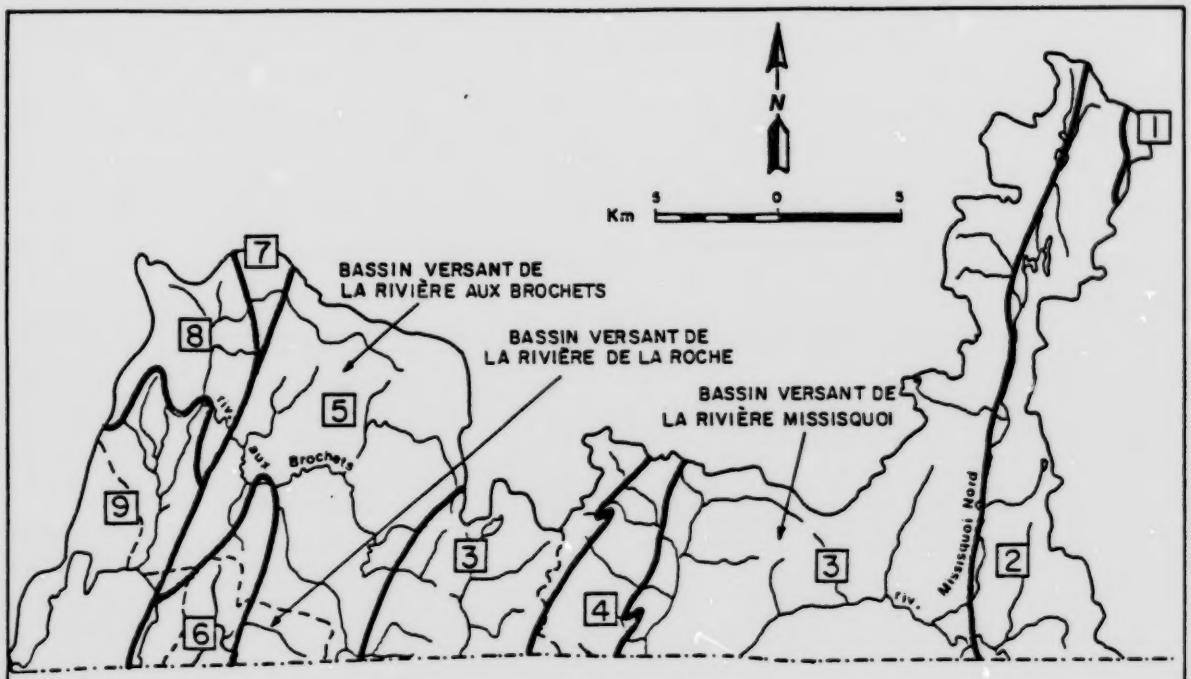
La rivière aux Brochets (fig. 3) a pour sources les eaux du lac Carmi aux Etats-Unis, et du petit ruisseau Cold, au Québec. Elle parcourt 55 km et présente une pente moyenne de 2 m/km pour finalement se jeter dans la baie Missisquoi. Son bassin versant est limité par ceux des rivières de la Roche et Missisquoi au sud et sud-est, par celui de la rivière Yamaska au nord et nord-est et par celui de la rivière Richelieu à l'ouest. Il couvre une superficie de 629 km^2 dont 530 ou 84% sont en territoire québécois (Choinière, 1984).

La rivière de la Roche (fig. 3), d'une trentaine de kilomètres de longueur, coule des Etats-Unis au Québec pour retourner se jeter dans la baie Missisquoi, du côté américain. Son bassin de drainage couvre 129 km^2 dont le tiers seulement se trouve au Québec. Il est adjacent au bassin propre de la baie à l'ouest, à celui de la rivière aux Brochets au nord et à l'est et au territoire drainé par la rivière Missisquoi au sud (Choinière, 1984).

2.2 Géologie

La composition du socle rocheux et des dépôts meubles d'un bassin versant influencent grandement la qualité des eaux qui s'écoulent sur le sol. En effet si les fondations sont calcaires, les eaux auront tendance à être dures et minéralisées alors qu'un bassin de pierre granitique fournira généralement des eaux douces et peu minéralisées.

La plus grande partie du socle rocheux du bassin de drainage de la baie Missisquoi est constituée de roches sédimentaires silicieuses non-calcaires (McCormack, 1981). Selon la Commission géologique du Canada



LÉGENDE

1. COMPLEXE IGNÉ DU MONT ORFORD : Gabbro
2. FORMATION DE MAGOG : Grauwake arkosique, blanc, schiste argileux ardoisier avec lits de grès, conglomérat, siltstone gris et chert vert pâle.
3. FORMATION DE BONSECOURS : Phyllade ou schiste argileux à muscovite et chlorite et, par endroits, à quartz et muscovite.
4. FORMATION TIBBIT HILL : Schiste argileux à chlorite - épidote de couleur vert moyen à foncé, dérivé de laves intermédiaires à basiques.
5. GROUPE DE STANDBRIDGE : Phyllade (schiste argileux et micas) gris, gris bleuâtre et vert, lits de quartzite blanc.
6. ÉCAILLE DE PHILIPSBURG : Surtout des calcaires.
7. COMPLEXE ST-GERMAIN : Lorraine, Utica, Trenton, fortement plissés et faillés.
8. UTICA : Schiste argileux noir.
9. TRENTON : Calcaire argileux.

FIGURE 2 : GEOLOGIE DE LA ROCHE DE FOND DES BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES MISSISQUOI, AUX BROCHETS ET DE LA ROCHE (Côté canadien).

(carte no. 1334A), cette région est issue de deux provinces géologiques différentes, soit l'Orogenèse des Appalaches et la plate-forme du Saint-Laurent, dont la composition de la roche mère diffère de l'amont vers l'aval.

Parmi ces deux provinces géologiques, le territoire canadien à l'étude comprend 9 grandes subdivisions distinctes (figure 2). Le complexe igné du mont Orford ainsi que le complexe Saint-Germain occupent la plus petite surface. Au deuxième rang viennent la formation Tibbit Hill, le Trenton, l'écaille de Philipsburg et l'Utica. Au troisième rang se retrouve le groupe de Stanbridge. La superficie la plus grande est occupée par la formation de Bonsecours (McCormack, 1981). Du côté américain, la composition de la roche en place est semblable à celle du côté canadien. La formation Bonsecours s'y transforme et devient la formation Underhill, composée de schiste cristallin et de phyllite.

Chaque rivière a ses propres caractéristiques lithologiques (Comm. géol. du Canada, carte 1550A). La lythologie de la roche en place, du bassin de la rivière Missisquoi comprend des roches ultramafiques, de la serpentinite, du gabbro, de la diorite, des roches volcaniques mafiques, du grès, du grauwacke, du schiste argileux, du calcaire et de la dolomie. Le bassin de drainage de la rivière aux Brochets se compose de schiste argileux, de siltstone, de schiste argileux noir, de chest et de calcaire. Pour sa part, le bassin versant de la rivière de la Roche est constitué de calcaire et dolomie.

Les dépôts meubles de la partie appalachienne du bassin versant de la baie Missisquoi sont des formations granulaires entièrement d'origine glaciaire (McCormack, 1981). Aux abords de la baie Missisquoi, les dépôts meubles sont des formations sablo-graveleuses exclusivement d'origine marine (Choinière, 1984).

La diversité dans la composition de la roche mère et des dépôts meubles explique en partie la variation observée pour certains paramètres de la qualité de l'eau. La conductivité spécifique des eaux souterraines augmente de l'est vers l'ouest, soit des Appalaches vers les Basses-Terres du Saint-Laurent et du sud au nord. La dureté totale, paramètre pouvant être relié à des formations rocheuses, augmente de la même façon. Les chlorures suivent également le même patron. Ces trois paramètres présentent des valeurs maximales aux environs de Notre-Dame-de-Stanbridge (McCormack, 1981). En ce qui concerne les concentrations de phosphore retrouvées dans le milieu aquatique du bassin versant de la baie Missisquoi, elles semblent peu affectées par la géologie.

Tableau 1: Caractéristiques morphométriques et hydrologiques de la Baie Missisquoi (tiré de Henson et Gruendling, 1977; Potash et Henson, 1974).

Profondeur moyenne (m)	2,8
Profondeur maximale(m)	4,5
Superficie (km^2)	77,5
Volume (X 10^6 m^3)	220
Débit d'entrée[1] (X 10^6 m^3/an)	1636
Débit à la sortie[2] (X 10^6 m^3/an)	1650
Précipitations (X 10^6 m^3/an)	71,8
Evaporation (X 10^6 m^3/an)	58,1
Taux de renouvellement (/an)	6

1: Débit d'entrée: apport du bassin de drainage.

2: Débit à la sortie: débit de la baie entre Lakewood (New-York) et East Alburg (Vermont)

2.3 Hydrologie et morphométrie

Le tableau 1 présente différentes caractéristiques morphométriques et hydrologiques de la baie Missisquoi. La profondeur moyenne est faible (2,8 m) et le taux de renouvellement en eau est élevé (6/an). Ces deux facteurs sont concurrentiels. Le premier favorise la productivité alors que le second la défavorise. Par rapport au lac Champlain, la baie Missisquoi possède un volume très réduit (0,85%) et une faible superficie (6,9%). Cependant, son apport en eau (14,3%) au lac est substantiel et reflète assez bien l'importance de son bassin de drainage (14,8%).

Quelques caractéristiques physiques des trois principaux tributaires de la baie nous informent quant à leur importance relative. La rivière Missisquoi à son embouchure possède une largeur de 60 m et une profondeur maximale de 2,5 m. Pour la période 1931-1981, le débit annuel moyen s'élevait à 48,8 m^3/sec (Choinière, 1984). La rivière aux Brochets, à son entrée au Québec, présente un cours d'eau turbulent, d'une largeur moyenne de 5 m environ. Sa vitesse diminue en se rapprochant de la baie où sa largeur moyenne atteint près de 20 m. Le débit médian obtenu pour 1983 était de 13 m^3/sec. La rivière de la Roche coule le long d'un parcours sinueux. A son entrée au Québec, sa largeur est d'environ 10 m et sa profondeur atteint 0,5 m alors qu'à son retour aux Etats-Unis, sa largeur est de 11 m et sa profondeur 2 m (Sloterdijk et Guay, 1982). Le débit médian en 1983 était de 0,80 m^3/sec.

2.4 Activités humaines

La population globale du bassin de drainage de la baie Missisquoi s'élevait en 1980 à 18 986 habitants du côté canadien (Ministère des affaires municipales, 1981) et à 37 000 du côté américain (Bureau of the Census, 1982).

Les rives de la baie sont majoritairement aménagées. Les gens ont érigé des murs de béton ou de pierraille, ont gazonné les terrains et aménagé des plages. La population permanente s'élève à un peu plus de 1000 personnes près des berges. La villégiature, le camping, la baignade, la navigation de plaisance et la pêche sportive sont les principales activités qui se pratiquent dans la baie.

En s'éloignant de la baie, le secteur agricole (bovin, laitier) occupe le territoire, puis cède sa place aux zones forestières dans les montagnes. Dans le bassin de drainage de la rivière Missisquoi, on retrouvait en 1980 une population de 6 800 habitants du côté canadien, alors que du côté américain elle était estimée à 33 000 habitants. La récréation, le tourisme et l'agriculture constituent les activités les plus importantes sur cette partie du territoire canadien.

A l'intérieur du bassin de la rivière aux Brochets, en plus de l'agriculture qui occupe une bonne partie du territoire, nous retrouvons 8 villages. La population s'élève à 10 116 habitants au Québec. Trois industries sont considérées comme sources de pollution à l'intérieur du bassin, soit Champlain Industries Ltée à Stanbridge, Snyder & Sons Co. et Tarrington Canada Ltd. à Bedford (Prévost et Trudel, 1985).

Le long de la rivière de la Roche, le territoire est principalement occupé par l'agriculture. Un seul village se retrouve à l'intérieur du bassin de drainage de la rivière, soit Saint-Armand Station. La population s'élève à 1 040 habitants.

3.0 METHODOLOGIE

Cette section traite des stations d'échantillonnage, des paramètres analysés, ainsi que du matériel et des procédures de terrain et de laboratoire utilisés dans cette étude.

3.1 Localisation des stations

Pendant la période allant de 1979 à 1983 inclusivement, 32 stations ont été échantillonnées dans le cadre du réseau de surveillance de la qualité de l'eau ou encore lors de l'étude intensive menée en 1983 dans le bassin de la baie Missisquoi. Les stations échantillonnées en 1983 sont localisées sur la figure 3 au moyen de 4 chiffres. Ces 4 chiffres sont les 4 derniers du numéro NAQUADAT que nous retrouvons à l'annexe 1. Cette annexe décrit brièvement les stations et les localise précisément.

Entre février et novembre 1983, 19 stations furent échantillonnées 10 fois pour cette étude intensive. Ces stations sont localisées dans la baie Missisquoi (2), la rivière Missisquoi (5), la rivière de la Roche (5) et la rivière aux Brochets et ses tributaires (7). Pour chaque rivière, 3 des stations échantillonnées étaient situées sur une section transversale à l'embouchure. Plus précisément, elles étaient au premier quart, au centre et au troisième quart de la section.

3.2 Variables analysées

Nous retrouvons au tableau 2, la liste des variables mesurées, la méthode analytique utilisée, son code NAQUADAT et la limite de détection. Les variables ne sont pas nécessairement analysées à chaque tournée d'échantillonnage. Cependant, en 1983, sauf en février et en novembre, toutes les variables ont été analysées à chaque station faisant partie de l'étude intensive à l'exception de quelques-unes exclusives à certaines

Figure 3
Localisation des stations d'echantillonnage dans les bassins versants des rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche (1979 - 1983)

Tableau 2: Méthodes analytiques, numéros NAQUADAT et limites de détection pour les variables analysées en 1983.

Paramètres	Méthode analytique	Naquadat	limite de détection	
débit	vitesse-surface	97160 F		
phosphore total	Technicon, acide ascorbique	15406 P	0,005	mg/L P
azote total	calcul	07602 P	0,02	mg/L N
azote total Kjeldahl	Technicon, digestion UV	07016 L	0,01	mg/L N
nitrites et nitrates	Technicon, réduction au cadmium	07112 L	0,01	mg/L N
oxygène dissous	électrode spécifique	08102 S	0,5	mg/L
chlorophylle "a"	spectrophotomètre	06719 L	0,1	mg/L
Transparence	disque de Secchi	02078 S	0,1	m
turbidité	turbidimètre	02073 L	0,1	UTN
matières solides en suspension, totales	gravimétrie	10401L	2	mg/l
chlorures	Technicon, thiocyanate	17203 L	0,1	mg/L
température	Thermomètre ou thermocouple	02061 S	0,1	°C
conductivité spécifique	électrode spécifique	02041 S	1	uS/cm
pH	électrode spécifique	10301 S	0,1	

stations: la chlorophylle "a" et la transparence mesurée avec le disque de Secchi à la baie, le débit aux embouchures des rivières Missisquoi, aux Brochets, de la Roche et du ruisseau Ewing, et finalement l'oxygène dissous et les chlorures à la baie et aux embouchures.

3.3 Echantillonnage

L'accès aux stations se faisait soit à gué, soit à partir de pont, soit au moyen d'un bateau. Les analyses de température, de conductivité, de pH et d'oxygène dissous ont été effectuées "in situ" à une profondeur d'environ 0,5 m à l'aide d'un multianalyseur Mark IV (Montedoro-Whitney corp.) ou spécifiquement pour chaque paramètre à l'aide d'un thermomètre, d'un conductivimètre (Metrohm Herisau), d'un pH mètre (Cole Parmer) et d'un ensemble Hach pour l'oxygène dissous.

Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de bouteilles tenues manuellement de 0,1 à 0,5 m sous la surface de l'eau, en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Les agents de conservation, lorsque nécessaires, étaient ajoutés à l'avance aux bouteilles préparées selon les méthodes mentionnées dans le guide d'échantillonnage d'Environnement Canada (1983). Une fois prélevés, les échantillons étaient conservés à 4°C dans des glacières. Pour les échantillons destinés à l'analyse de la chlorophylle, la filtration était effectuée sur le terrain. A la fin de la journée les glacières étaient acheminées au laboratoire de Longueuil pour permettre le respect des délais d'analyses.

Les mesures de débit étaient effectuées selon la méthode de la vitesse-surface ("velocity-area") décrite par Herschy (1978). On les réalise à gué ou d'une embarcation avec des jauges, des rubans gradués, un chronomètre et un moulinet de marque Price pourvu d'un émetteur sonore.

3.4 Laboratoire

Les paramètres physico-chimiques ont été analysés au laboratoire du Capitaine Bernier de Longueuil, à l'exception de l'azote total Kjeldahl, analysé au laboratoire national de la qualité de l'eau de Burlington (Ontario). Les méthodes d'analyses utilisées sont celles du manuel d'Environnement Canada (1979).

3.5 Compilation et interprétation

Les résultats des analyses ont été mis dans la base fédérale de données sur la qualité de l'eau NAQUADAT ("NATIONAL WATER QUALITY DATA"). Cette base de données est gérée par un groupe de scientifiques de la Direction générale des eaux intérieures et des terres à Hull. Elle nous a fourni les différentes valeurs statistiques pour les périodes 1979-1982 et 1983 utilisées dans ce rapport.

L'interprétation des résultats s'est faite en comparant les moyennes des différents paramètres pour les stations d'une même rivière. Les variations temporelles caractéristiques pour l'ensemble des stations d'une rivière sont présentées dans le texte alors que les figures des variations spatio-temporelles sont fournies en annexe.

Finalement, les résultats individuels sont comparés aux lignes directrices mentionnées par McNeely et al. (1980) et rapportées au tableau 3.

Tableau 3: Principes directeurs pour différentes utilisations de l'eau

(Tirés de Mc Neely et al., 1980)

Utilisations		Consommation domestique		Bétail	Vie aquatique	Loisirs
Paramètres	Unités	Limites maximales acceptées	Objectifs	Principes directeurs	Protection	Principes directeurs
pH		6,5 - 8,5			6,5 - 9	6 - 9
Turbidité	U.J.	5	1			50
Couleur	Pt-Co	15	15			100
MSS. totales	mg/l				25	
Alc. totale	mg/l	30 - 500			20 G	
Dureté totale	mg/l	120	120			
NO_2-NO_3	mg/l N	10	0,001	20		
P total (lac)	mg/l P	0,100			0,025	
P total (riv.)	mg/l P	0,100			0,100	
Chlorure	mg/l	250	250			
OD	mg/l				4	
Disque de Secchi	m					1,2

Remarque: Les valeurs fournies représentent les valeurs maximales sauf lorsqu'il y a deux chiffres qui représentent le minimum et le maximum.

4.0 RIVIERE MISSISQUOI

4.1 Débit

Les variations temporelles de débits instantanés mesurés à l'embouchure de la rivière Missisquoi en 1983 sont présentées à la figure 4. Les périodes de crues enregistrées ont lieu au printemps et à l'automne et présentent des débits 15 fois plus élevés qu'en période d'étiage l'été. Elles correspondent, au printemps, à la fonte des neiges accumulées pendant l'hiver, et à l'automne aux pluies qui sont caractéristiques à cette saison.

Le débit médian de 47,39 m^3/sec (tableau 4), obtenu en 1983, se compare au débit annuel moyen de 51,57 m^3/sec de 1983 (United States Geological Survey, 1985) et au débit annuel moyen calculé pour la période de 1931 à 1981 de 48,8 m^3/sec (Choinière, 1984). Pour ces raisons nous considérons les débits obtenus pendant la période d'échantillonnage comme de bons estimés des débits réels, et la médiane représentative de l'année 1983.

4.2 Qualité physico-chimique générale de l'eau

Dans cette section six variables sont traitées, soit la conductivité, les matières solides en suspension totales, la turbidité, le pH, l'oxygène dissous et les chlorures. Les variables ont été analysées à toutes les stations de la rivière Missisquoi, sauf pour les chlorures et l'oxygène dissous qui l'ont été à l'embouchure seulement. Aux 3 stations transversales (9168, 9128, 9167) nous avons analysé les chlorures, alors que l'oxygène dissous ne le fut qu'au centre (9128).

L'observation des moyennes (tableau 4) pour le pH, la conductivité, les matières solides en suspension totales et la turbidité indique qu'il

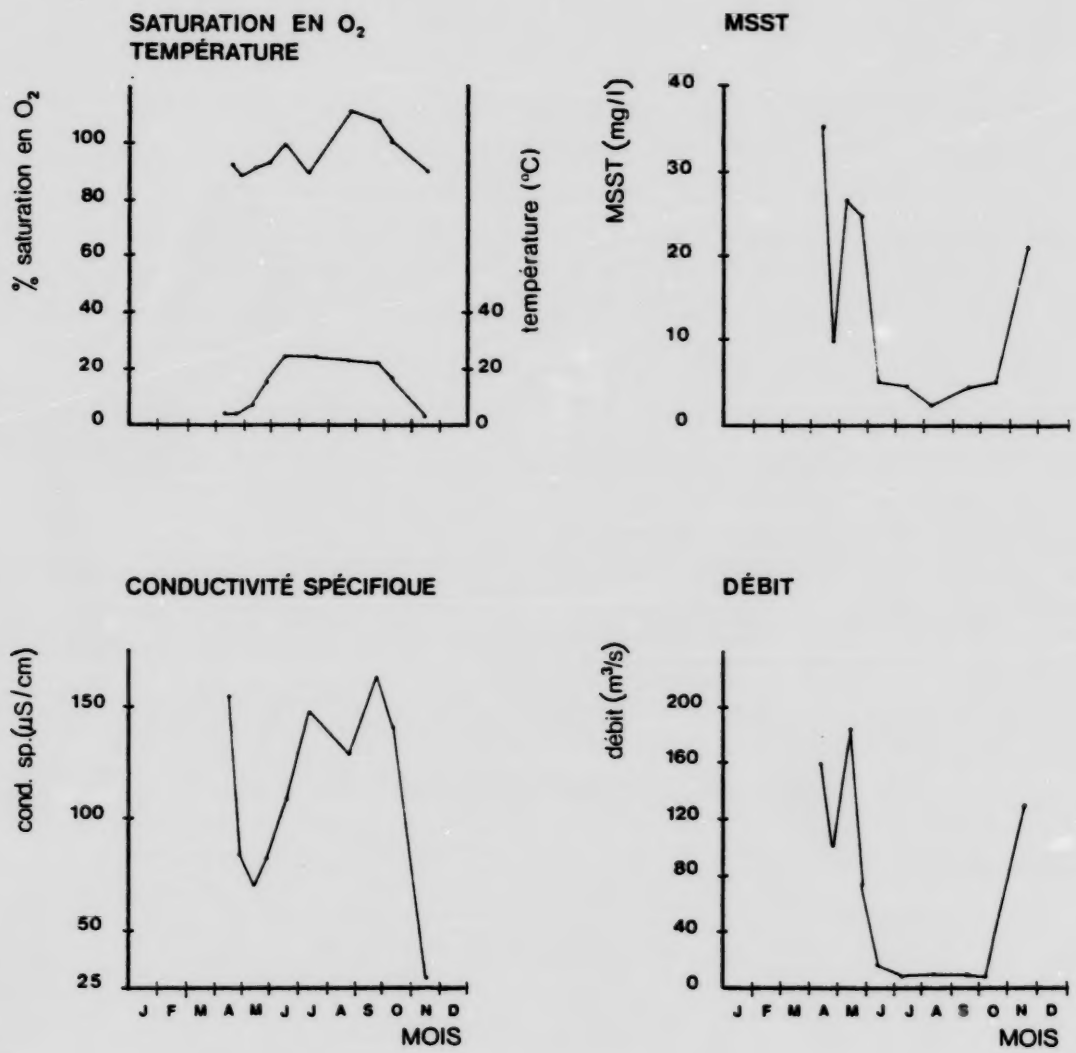


Figure 4: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (station 9128) en 1983.

Tableau 4: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées dans la rivière Missisquoi en 1983.

STATIONS	STATISTIQUES	Q (m^3/s)	Pt (mg/l P)	Nt (mg/l N)	TKN (mg/l N)	NO_2-NO_3 (mg/l N)	OD (mg/l)	SOD (%)	TURB (UTJ)	MSS (mg/l)	Cl (mg/l)	T (°C)	COND (uS/cm)	pH
9116	X	-	0,081	0,48	0,270	0,195	-	-	3,9	14	-	11,6	117	7,5
près de	med	-	0,080	0,41	0,214	0,195	-	-	3,8	12	-	14,0	120	7,4
North Troy	min	-	0,032	0,33	0,188	0,040	-	-	1,6	5	-	0	63	7,1
	max	-	0,133	0,78	0,628	0,420	-	-	6,4	37	-	24,9	165	8,0
	sX	-	0,033	0,15	0,139	0,105	-	-	1,6	10	-	8,8	35	0,3
	n	-	10	9	9	10	-	-	10	10	-	10	10	10
9117	X	-	0,055	0,39	0,232	0,163	-	-	6,1	14	-	12,1	114	7,3
près d'East	med	-	0,048	0,41	0,250	0,135	-	-	4,1	7	-	14,0	109	7,3
Richford	min	-	0,027	0,25	0,120	0,030	-	-	1,9	3	-	0	63	6,5
	max	-	0,117	0,55	0,323	0,380	-	-	19,0	51	-	24,4	153	8,2
	sX	-	0,027	0,12	0,075	0,111	-	-	5,2	15	-	9,1	31	0,5
	n	-	10	10	10	10	-	-	10	10	-	10	10	10
9168	X	-	0,072	0,53	0,364	0,163	-	-	7,5	13	7,7	14,2	120	7,5
rive gau-	med	-	0,074	0,56	0,290	0,170	-	-	5,3	8	7,3	16,5	128	7,4
che près	min	-	0,019	0,28	0,210	0,010	-	-	2,0	3	4,2	2,0	33	7,0
de Swanton	max	-	0,120	0,75	0,650	0,350	-	-	15,0	33	11,8	25,4	157	8,2
	sX	-	0,027	0,14	0,139	0,104	-	-	5,3	11	2,8	9,5	41	0,8
	n	-	10	9	9	9	-	-	10	10	10	10	10	10
9128	X	68,46	0,058	0,47	0,306	0,160	9,9	97	7,5	14	6,9	14,2	114	7,4
centre	med	47,39	0,065	0,46	0,290	0,170	9,5	93	4,8	7	6,0	16,5	120	7,4
près de	min	3,80	0,019	0,39	0,212	0,010	7,5	89	1,7	2	3,3	2,0	30	6,7
Swanton	max	181,12	0,095	0,56	0,453	0,330	12,0	111	15,0	36	12,1	25,6	162	8,3
	sX	68,83	0,024	0,06	0,080	0,099	1,6	8	5,5	12	3,2	9,2	41	0,4
	n	10	10	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10
9167	X	-	0,046	0,46	0,281	0,162	-	-	7,5	14	6,4	14,1	111	7,5
rive droi-	med	-	0,040	0,48	0,270	0,170	-	-	3,9	8	6,0	16,0	120	7,5
te près	min	-	0,020	0,27	0,200	0,010	-	-	1,9	2	3,3	2	29	6,8
de Swanton	max	-	0,075	0,56	0,460	0,320	-	-	17,0	39	10,3	25,4	154	8,2
	sX	-	0,019	0,09	0,084	0,097	-	-	6,3	13	2,4	9,4	41	0,4
	n	-	10	8	8	9	-	-	10	10	10	10	10	10

Légende:

min: minimum
max: maximum
med: médiane
X: moyenne
sX: écart type
n: nombre

- Q: débit
Pt: phosphore total
Nt: azote total
tKN: azote total Kjeldahl
NO_2-NO_3: nitrites et nitrates
OD: oxygène dissous
SOD: saturation en oxygène dissous

Turb: turbidité
MSS: matière solides en suspension
Cl: chlorures dissous
T: température
Cond: conductivité

n'y a pas de variations transversales à l'embouchure pour ces paramètres. Par contre, pour les chlorures, il y a une légère augmentation de la droite vers la gauche, où les teneurs moyennes passent de 6,4 (9167), à 6,9 (9128) et à 7,7 mg/L (9168).

Les pourcentages de saturation en oxygène dissous (calculés selon Schwoerbel, 1972) et la température pour 1983 apparaissent à la figure 4. Nous préférons parler de l'oxygène dissous en termes de saturation plutôt que de teneurs, les eaux de basses températures retenant plus l'oxygène, le pourcentage de saturation est un meilleur indicateur de la productivité des eaux de surface.

En général l'eau à l'embouchure de la rivière est saturée à 85% sauf aux mois de juin et juillet où les valeurs s'abaissent substantiellement pour atteindre environ 65%. La baisse des teneurs en été s'explique par un métabolisme plus élevé des bactéries du cours d'eau à cette période de l'année.

Pour le pH, il n'y a pas de différence entre les stations situées sur le gradient longitudinal de la rivière (9116, 9117, 9128). Le pH à la rivière Missisquoi varie entre 6,5 et 8,3 avec une valeur moyenne de 7,5 (tableau 4). De 1979 à 1982, le pH avait sensiblement la même moyenne (7,2) aux stations de North Troy (9116) et d'East Richford (9117) pour lesquelles nous avions des données.

On retrouve à la figure 4 les variations temporelles de la conductivité à la station du centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (9128). Le patron exprimé à cette station est représentatif des courbes de conductivité que l'on a aux autres stations de la rivière près d'East Richford (9117) et de North Troy (9116), et que l'on peut retrouver à l'annexe 2. Ce patron dépend de l'interaction des précipitations atmosphériques et des propriétés du sol récepteur et il est inversement propor-

tionnel à celui du débit (figure 4). Au printemps et à l'automne on retrouve des conductivités basses qui reflètent une dilution due aux eaux de ruissellement. En été le ruissellement est moins important, et la contribution des eaux à conductivité plus forte de la nappe phréatique est cause de la conductivité plus élevée dans la rivière. La conductivité semble être la même de la tête à l'embouchure. Les valeurs de conductivité caractéristiques de la rivière Missisquoi oscillent de 29 à 165, avec une moyenne de 140 uS/cm (tableau 4). Nous ne retrouvons donc pas d'augmentation de la conductivité de l'est vers l'ouest comme McCormack l'avait observé pour les eaux souterraines (2.2 Géologie).

On peut comparer les patrons des matières solides en suspension totales et du débit à la figure 4. Les matières solides en suspension totales sont proportionnelles au débit. C'est donc au printemps et à l'automne pendant les crues, que l'on retrouve les plus grandes teneurs de matières solides en suspension dans la rivière.

La courbe de la variation temporelle des matières solides en suspension retrouvée au centre de l'embouchure est semblable à celles des 2 stations plus en amont (9117, 9116). Il ne semble pas y avoir de différence entre les stations sur le gradient longitudinal de la rivière (annexe 2). Les teneurs en matières solides en suspension totales à la rivière Missisquoi varient de 3 à 51 avec une moyenne de 14 mg/L. Il ne semble pas y avoir de différence entre les moyennes calculées pour les périodes 1979-1982 et 1983 aux stations d'East Richford et de North Troy (9117, 9116).

Les variations temporelles de la turbidité suivent très sensiblement celles des matières solides en suspension totales (annexe 2). Cependant alors qu'il ne semblait pas y avoir de différence sur le gradient longitudinal de la rivière pour les matières solides en suspension totales, on en retrouve une pour la turbidité. Pour la période étudiée en 1983 la turbi-

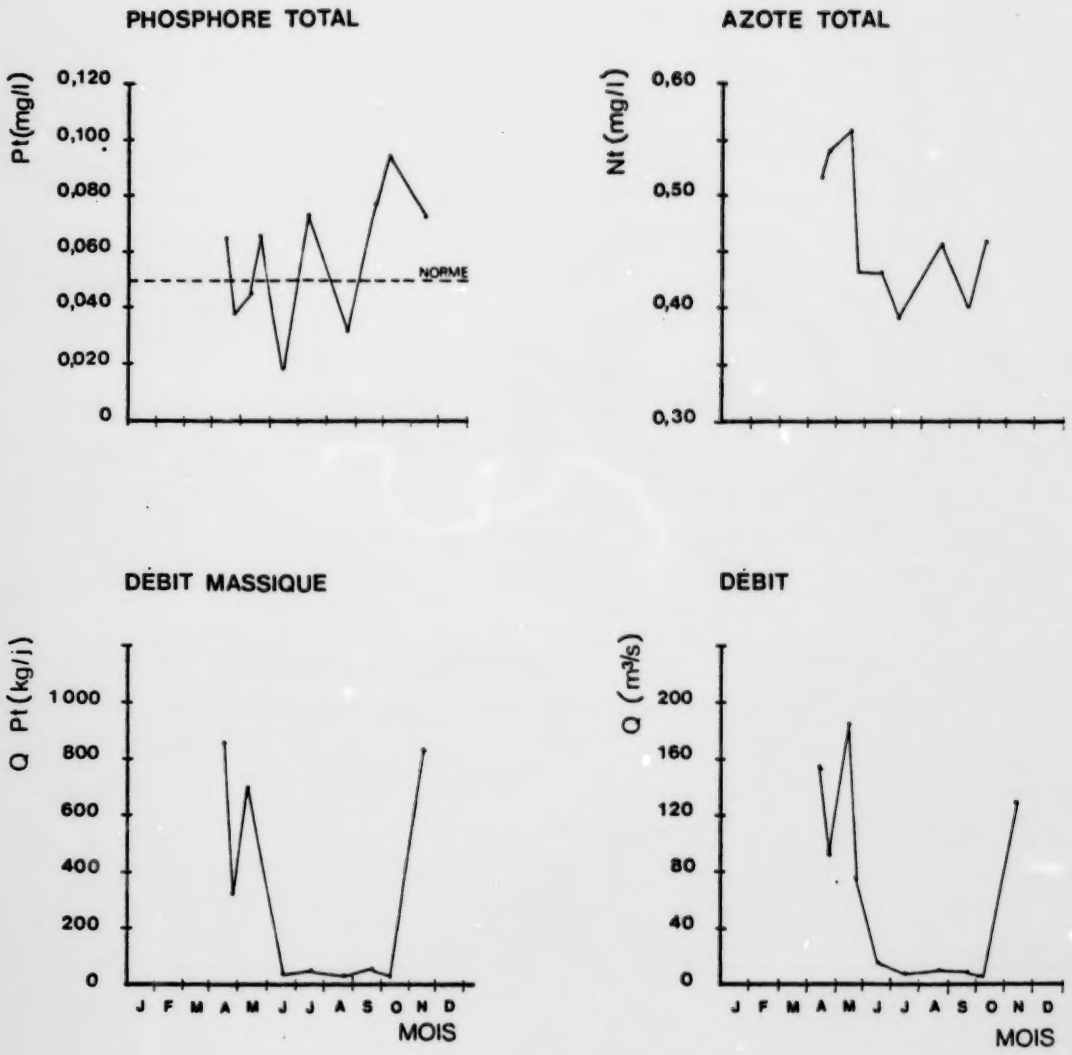


Figure 5: Variations temporelles des teneurs en éléments nutritifs et des débits au centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (station 9128) en 1983.

dité va en croissant de la tête à l'embouchure avec des moyennes de 3,9, 6,1, 7,5 UTJ (respectivement pour les stations de North Troy, East Richford et Swanton), alors que la turbidité varie de 1,6 à 19 UTJ pour l'ensemble de la rivière.

L'augmentation de la turbidité sur le gradient longitudinal de la rivière alors que les teneurs en matières solides en suspension restent stables, pourrait s'expliquer par l'augmentation des particules plus fines de l'amont vers l'aval, qui feraient augmenter de façon plus sensible la turbidité.

Des 6 variables analysées dans cette section pour lesquelles des lignes directrices ont été établies (McNeely et al., 1980), seules les matières solides en suspension totales ne respectent pas la ligne directrice. Cette ligne directrice est de 25 mg/L pour la protection de la vie aquatique. Elle est dépassée dans 17% des cas pour les 3 stations longitudinales (annexe 2) et ce, seulement pendant les crues printanières. Le ruissellement important qui se produit à cette période de l'année sur les terres agricoles sans végétation (superficies consacrées aux grandes cultures, aux cultures maraîchères et autres) serait responsable des teneurs élevées retrouvées pour les matières solides en suspension.

4.3 Eléments nutritifs

On présente à la figure 5 les variations temporelles de teneurs en éléments nutritifs et de débits mesurés au centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (station 9128) en 1983.

Teneurs en phosphore total

Les variations temporelles des teneurs en phosphore total sont irrégulières et prononcées mais non synchronisées avec le débit. La courbe

des variations spatio-temporelles en phosphore total au centre de l'embouchure (9128) présentée à la figure 5, est représentative des patrons des variations temporelles observées tant aux autres stations de l'embouchure (9168, 9167) que sur le gradient longitudinal de la rivière près d'East Richford et à North Troy (9116, 9117). On retrouve à l'annexe 2 les courbes pour ces stations.

A la figure 6, les variations spatiales des teneurs en phosphore total indiquent une légère augmentation de la droite vers la gauche à l'embouchure (9168, 9128, 9167). Sur le gradient longitudinal les teneurs seraient en moyenne plus fortes à la station de tête (9116), pour diminuer à la station d'East Richford (9117), et finalement augmenter légèrement à la station de l'embouchure (9128).

Les teneurs en phosphore total varient de 0,019 à 0,133 mg/l à la rivière Missisquoi (tableau 4) en 1983. Les moyennes observées pour la période 1979-1982 confirment que les teneurs sont plus élevées à la station située près de North Troy, qu'à celle située près d'East Richford (figure 9).

Cependant l'observation des variations des teneurs en phosphore total à la station près d'East Richford nous indique que celle-ci possède une concentration beaucoup plus élevée au printemps (avril), que ce que l'on peut observer aux stations au centre de l'embouchure et près de North Troy. En vérifiant les données des années antérieures (1979-1982), on réalise que cet événement se reproduit chaque printemps. Les activités agricoles plus intenses sur le territoire drainé par la rivière près de la station de North Troy, pourraient être responsables des teneurs moyennes plus élevées de phosphore total retrouvées à cet endroit alors que les plus fortes teneurs retrouvées au printemps à la station près d'East Richford montreraient l'impact local du ruissellement des terres agricoles qui bordent la rivière.

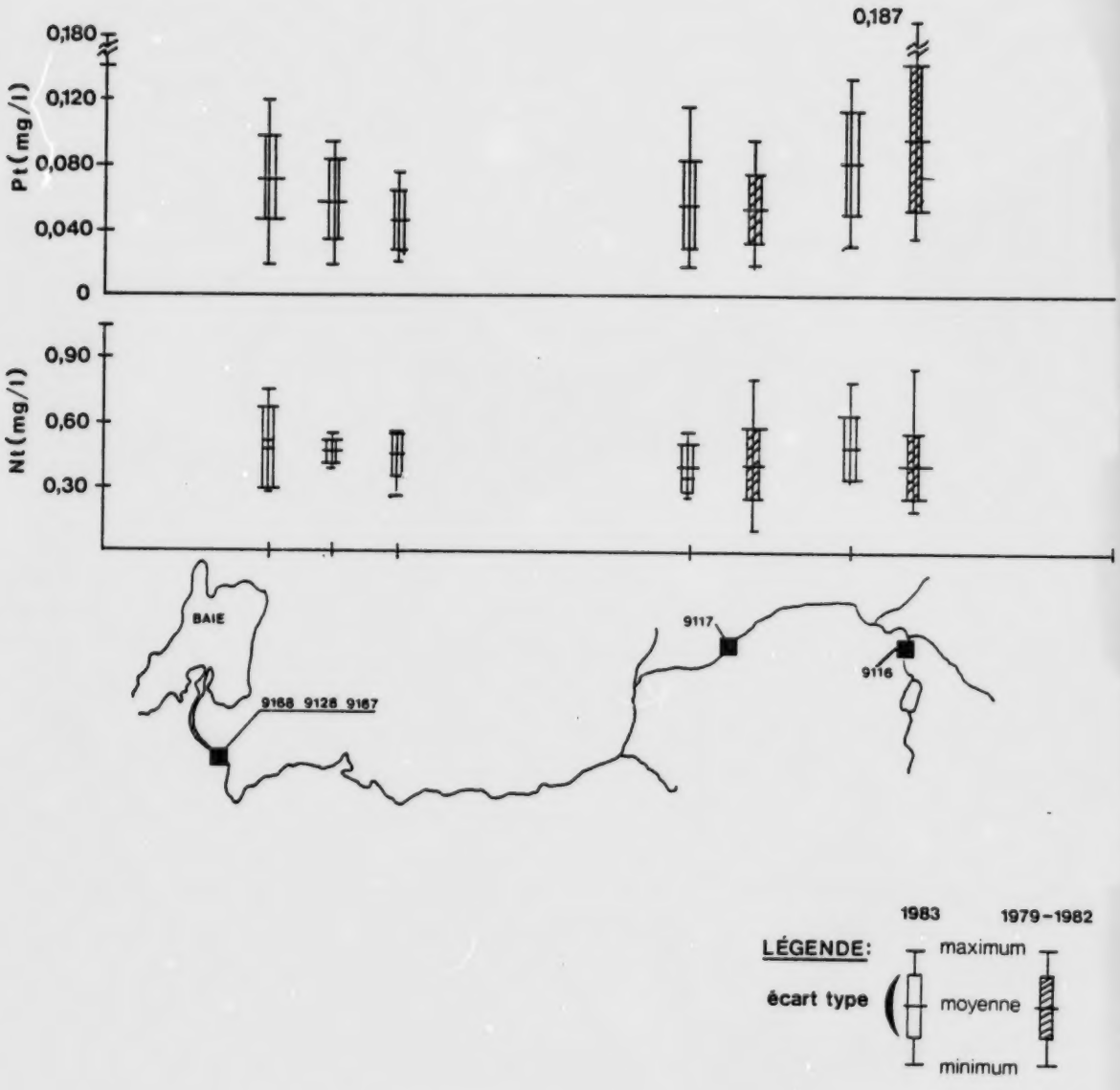


Figure 6: Variations longitudinales du phosphore total et de l'azote total à la rivière Missisquoi en 1983.

Teneurs en azote total

Les teneurs en azote total dans ce rapport représentent la somme des teneurs en azote Kjeldahl et des nitrites-nitrates.

Les variations temporelles de l'azote total au centre de l'embouchure de la rivière Missisquoi (fig. 5) montrent des valeurs plus fortes tôt au printemps et des concentrations plus basses et variables en été et au début de l'automne. Les courbes de cette variable pour les stations transversales à l'embouchure et celles situées sur le gradient longitudinal de la rivière ne suivent pas toutes ce patron (annexe 2). Elles en diffèrent en ce qu'elle présenteront dans certains cas des valeurs assez élevées en fin d'été et au début de l'automne. Les hautes teneurs en azote total au printemps sont dues aux teneurs plus élevées en nitrites-nitrates, alors qu'en automne elles s'expliquent par des teneurs en azote total Kjeldahl plus grande (annexe 2).

Il ne semble pas y avoir de différence entre les moyennes retrouvées aux stations de l'embouchure, alors que sur le gradient longitudinal de la rivière les teneurs seraient légèrement plus basses à la station d'East Richford comme le présente la figure 6. Les teneurs en azote total varient entre 0,33 et 0,78 mg/L dans la rivière Missisquoi en 1983 (tableau 4).

Les moyennes pour la période 1979-1982 indiquent que les teneurs en azote total sont les mêmes qu'en 1983 à la station d'East Richford tandis qu'elles seraient légèrement plus élevées en 1983 à la station 9116.

Rapport azote total sur phosphore total

Le rapport azote total sur phosphore total (Nt/Pt) peut servir à déterminer l'élément nutritif limitatif à la croissance. Lorsque le

rapport moléculaire Nt/Pt devient inférieur à 11 (Potvin, 1976), l'azote est l'élément limitant. De plus, ce rapport indique que la qualité de l'eau se dégrade lorsqu'il décroit (Bégin, 1984).

Lorsqu'on utilise le rapport des masses des deux éléments plutôt que le rapport moléculaire, le chiffre 11 devient:

$$\text{Nt/Pt (moléculaire)} = 11$$

$$\text{Nt/Pt (des masses)} = 11 \times \frac{14\ g}{31\ g} = 5$$

où masse moléculaire Nt = 14 g
et celle de Pt = 31 g

L'azote sera donc l'élément nutritif limitatif lorsque le rapport des masses Nt/PT sera inférieur à 5.

En général à la rivière Missisquoi, le phosphore semble l'élément limitant (tableau 5). Cependant, d'après le rapport Nt/Pt, l'azote serait l'élément limitant aux mois d'août, octobre et novembre à la station située près de North Troy. Ce même rapport nous indique que la qualité de l'eau varie beaucoup d'une station à l'autre et d'une période d'échantillonnage à une autre.

Débits massiques en phosphore total

Les variations temporelles du débit massique instantané en phosphore total à l'embouchure de la rivière Missisquoi sont présentées à la figure 5. Des quantités élevées de phosphore sont apportées par la rivière Missisquoi à la baie au printemps et à l'automne pendant les

Tableau 5: Rapport Nt/Pt pour les stations de la rivière Missisquoi échantillonnées en 1983.

DATE \ STATION	9116 North Troy	9117 East Richford	9128 Embouchure
1983-04-13	8	9	8
1983-04-20	7	5	14
1983-05-11	12	7	12
1983-05-25	12	11	6
1983-06-15	12	7	22
1983-07-13	6	10	5
1983-08-24	3	5	15
1983-09-20	--	7	5
1983-10-04	2	10	5
1983-11-16	4	7	--

crues, alors que l'apport diminue et se stabilise en été (de juin à octobre). La courbe des débits massiques en phosphore est conditionnée par les fluctuations du débit plutôt que par les concentrations en phosphore. Les charges varient de l'ordre de 40 fois entre le minimum et le maximum enregistrés, soit 25 et 851 kg/j (voir tableau 12). La valeur médiane est de 182 kg/j, ce qui par extrapolation donne un apport de 66 587 kg/an à la baie.

Objectifs de la qualité de l'eau

Dans 40% des cas, les résultats des stations de l'embouchure dépassent la ligne directrice de 0,050 mg/L en phosphore total pour les eaux se jetant dans les lacs et les réservoirs (United States Environmental Protection Agency, 1976; McNeely et al, 1980). Si l'on considère que la station 9128 représente l'embouchure et que la norme acceptable en rivière est de 0,100 mg/L, alors 13% des échantillons dépasseraient cette norme sur le gradient longitudinal de la rivière.

5.0 RIVIERE AUX BROCHETS

5.1 Débit

La figure 7 montre le débit mesuré aux différentes dates d'échantillonnage à la rivière aux Brochets. Le débit mesuré en période de crue (69 m^3/s) est supérieur à celui de la période d'étiage (0,5 m^3/s) par un facteur de 100. En ce qui concerne le ruisseau Ewing, cette proportion atteint un facteur de 1000 (2,56 vs 0,0014 m^3/s).

Pour comparer les débits instantanés que nous avons mesurés à ceux obtenus en continu par Environnement Québec, nous avons dû tenir compte de la distance qui séparait les deux stations, et calculer le débit moyen annuel de l'année civile 1983 à partir des données des années hydrologiques 1982-1983 et 1983-1984 d'Environnement Québec (M. Miron). Nous obtenons un débit moyen de 9,11 m^3/s à Bedford pour 1983, ce qui se transforme en 15,2 m^3/s à Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River. Ce débit moyen se compare assez bien au débit médian de 13,0 m^3/s que nous avons obtenu à la station 9153. Pour ce qui est du ruisseau Ewing, nous avons obtenu un débit médian de 0,55 m^3/s.

5.2 Qualité physico-chimique générale de l'eau

A l'embouchure de la rivière aux Brochets, les paramètres physico-chimiques n'indiquent pas de variations transversales pour l'ensemble de l'année 1983, autant pour les valeurs moyennes que pour les valeurs individuelles (tableau 6).

En ce qui concerne les variations temporelles, l'oxygène dissous varie entre 4,2 et 11 mg/l. Exprimé en pourcentage de saturation, cela représente des teneurs variant entre 53 et 105% (figure 7), pour une valeur moyenne de 79%. C'est de la fin du mois de mai au milieu de juin que le pourcentage de saturation est le plus faible.

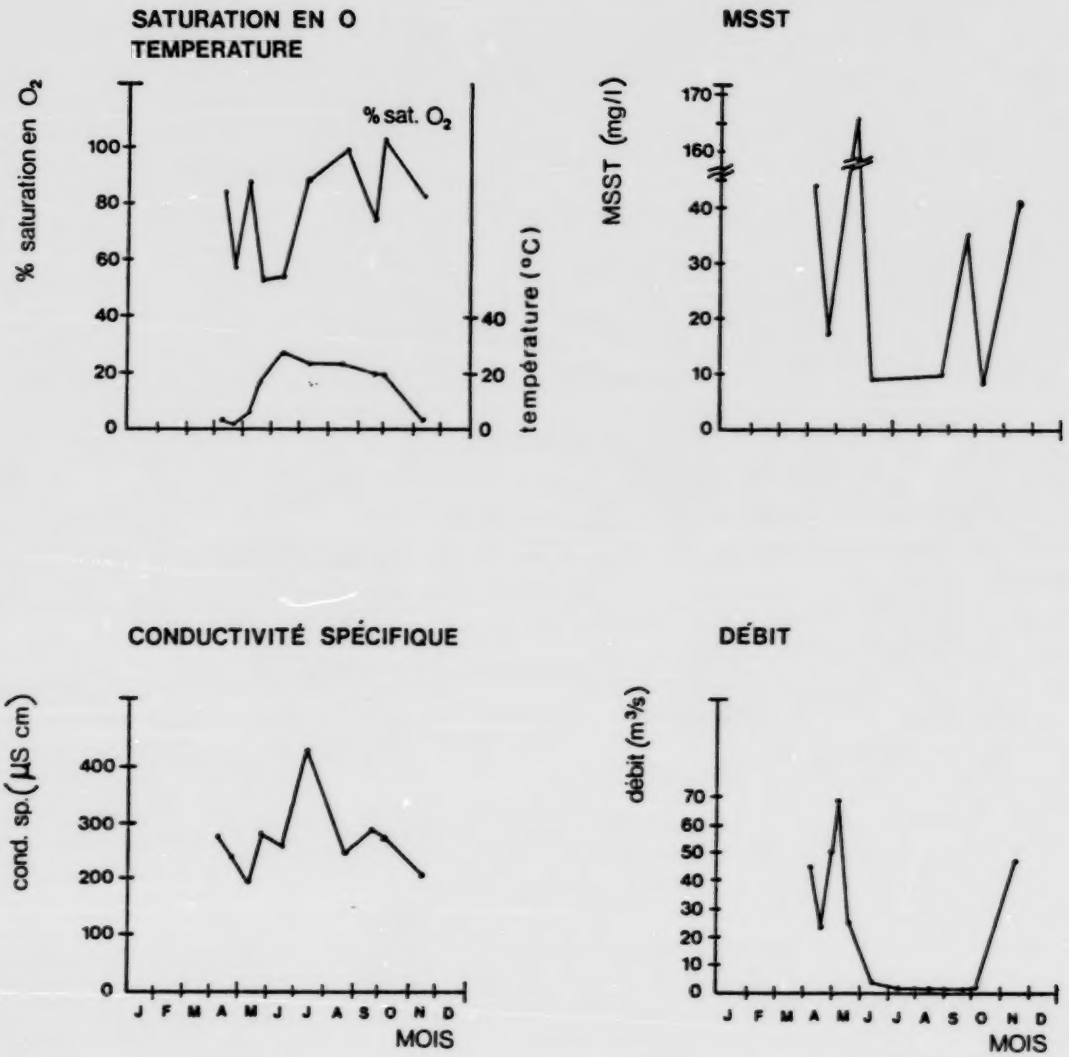


Figure 7: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de l'embouchure de la rivière aux Brochets (station 9153) en 1983.

À l'embouchure, Le pH nous montre des valeurs plus faibles au printemps et à l'automne (annexe 2), alors que ce phénomène est moins apparent à la station située à la tête de la rivière (9119). De façon longitudinale, il y a accroissement du pH entre la station située à l'entrée de la rivière au Québec (7,4) et celle de Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River (8,3) puis diminution jusqu'à l'embouchure (7,7). L'apport des ruisseaux Ewing (7,7) et aux Castors (7,4) entre ces 2 stations explique cette diminution.

La figure 7 nous montre la variation temporelle de la conductivité à la station centrale (9153) de l'embouchure de la rivière. Tout comme pour la rivière Missisquoi, les valeurs les plus fortes sont observées durant la période de faible débit, alors que les valeurs mesurées durant les crues sont le reflet de la dilution causée par les hauts débits de la rivière. De l'amont vers l'aval, il y a une augmentation de la minéralisation de l'eau, telle que nous l'indiquent les moyennes (179 à 249 à 273 uS/cm) des 3 stations. Ce patron spatial ressemble à celui des eaux souterraines (McCormack, 1981).

La variation des matières solides en suspension montrée à la figure 7 suit celle du débit de la rivière et montre bien l'influence du ruissellement associé à la fonte des neiges et à la pluie automnale. Pour la période avril-novembre 1983, il n'y a pas d'augmentation des matières solides entre les deux premières stations (moyennes de 9 et 10 mg/l respectivement) alors qu'il y a augmentation dans la dernière section de la rivière (moyenne de 41 mg/l). La turbidité, variable fortement reliée aux matières solides en suspension, suit le même patron. Nous observons une légère augmentation de la station 9119 à la station 9152 et une plus importante jusqu'à la station 9153 pour la turbidité. L'influence des ruisseaux aux Castors et Ewing (moyennes de 50 et 69 mg/l en matière solide) se fait nettement sentir sur la dernière portion de la rivière.

Tableau 6: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées dans la rivière aux Brochets en 1983.

STATIONS	STATISTIQUES	Q (m^3/s)	Pt (mg/l P)	Nt (mg/l N)	TKN (mg/l N)	NO_2-NO_3 (mg/l N)	OD (mg/l)	SOD (%)	TURB (UTJ)	MSS (mg/l)	Cl (mg/l)	T (°C)	COND (uS/cm)	pH
9119	X	-	0,042	0,59	0,369	0,22	-	-	3,2	9	-	11,7	179	7,4
Tête	med	-	0,039	0,57	0,327	0,22	-	-	2,6	5	-	15,0	143	7,4
	min	-	0,023	0,42	0,267	0,09	-	-	0,9	1	-	0,0	93	7,0
	max	-	0,077	0,85	0,634	0,38	-	-	7,4	33	-	23,0	444	7,8
	sX	-	0,016	0,13	0,119	0,08	-	-	2,1	10	-	8,9	101	0,3
	n	-	10	10	10	10	-	-	10	10	-	10	10	10
9152	X	-	0,140	0,85	0,512	0,33	-	-	12,7	40	-	17,1	249	8,3
Pike-River	med	-	0,062	0,60	0,450	0,14	-	-	4,0	5	-	22,0	250	8,5
	min	-	0,029	0,46	0,427	0,01	-	-	2,0	2	-	0,0	202	7,3
	max	-	0,565	1,95	0,830	1,12	-	-	34,0	218	-	27,0	294	9,0
	sX	-	0,194	0,58	0,156	0,44	-	-	12,7	80	-	11,0	30	0,6
	n	-	7	6	6	6	-	-	7	7	-	7	7	7
9164	X	-	0,217	1,63	0,998	0,63	-	-	30,6	39	13,0	14,3	269	7,8
Embouchure,	med	-	0,187	1,52	0,860	0,66	-	-	13,5	27	10,7	18,0	267	7,8
rive droi-	min	-	0,064	0,85	0,500	0,01	-	-	4,0	8	5,8	1,0	185	7,2
te	max	-	0,459	2,60	2,540	1,40	-	-	170,0	173	21,3	27,3	433	8,5
	sX	-	0,131	0,61	0,640	0,57	-	-	50,0	49	15,4	9,9	70	0,5
	n	-	10	9	9	9	-	-	10	10	10	10	9	10
9153	X	20,03	0,218	1,54	0,921	0,62	8,2	79	29,8	41	12,9	17,0	273	7,7
Embouchure,	med	13,0	0,195	1,56	0,911	0,65	8,3	84	14,5	35	10,3	21,5	260	7,7
centre	min	0,52	0,056	0,79	0,510	0,01	4,2	53	3,3	9	6,0	1,0	197	7,3
	max	69,16	0,484	2,62	1,770	1,31	11,0	105	160	166	21,5	27,2	434	8,5
	sX	24,36	0,135	0,56	0,450	0,55	2,4	19	47,1	49	5,5	8,9	65	0,4
	n	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	15	10	10
9163	X	-	0,200	1,56	0,851	0,71	-	-	30,7	39	13,4	14,2	285	7,8
Embouchure,	med	-	0,186	1,67	0,890	0,660	-	-	16,5	30	10,6	18,0	273	7,5
rive gau-	min	-	0,059	0,78	0,470	0,02	-	-	3,8	8	6,5	1,0	219	7,3
che	max	-	0,426	2,15	1,620	1,55	-	-	150,0	160	23,5	27,3	437	8,5
	sX	-	0,114	0,53	0,357	0,64	-	-	44,0	45	5,9	9,8	63	0,5
	n	-	10	9	9	9	-	-	10	10	10	10	10	10

Tableau 6: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées dans la rivière aux Brochets en 1983.

STATIONS	STATISTIQUES	Q (m^3/s)	Pt (mg/l P)	Nt (mg/l N)	TKN (mg/l N)	NO_2-NO_3 (mg/l N)	OD (mg/l)	SOD (%)	TURB (UTJ)	MSS (mg/l)	Cl (mg/l)	T (°C)	COND (uS/cm)	pH
9162	X	0,89	0,502	5,57	3,463	1,86	-	-	40,0	69	16,3	14,5	659	7,7
Ewing	méd	0,55	0,356	4,63	1,337	1,69	-	-	30,0	64	-	18,5	653	7,6
	min	0,0014	0,109	0,79	0,540	0,01	-	-	7,7	18	14,4	0,5	418	6,9
	max	2,56	1,704	20,00	18,400	4,09	-	-	88,0	146	18,2	25,0	900	8,3
	sX	1,01	0,487	6,05	6,077	1,59	-	-	30,1	47	-	10,1	184	0,5
	n	10	10	8	8	9	-	-	10	10	2	10	10	10
9165	X	0,02	4,424	16,62	16,510	0,12	-	-	19,5	50	69,7	25,1	1113	7,4
aux	méd	0,02	4,523	16,90	16,700	0,05	-	-	21,0	31	75,0	24,3	1200	7,2
Castors	min	0,01	0,195	1,19	0,910	0,02	-	-	3,4	19	12,8	22,0	282	6,9
	max	0,02	8,892	31,72	31,70	0,28	-	-	32,0	130	135,0	29,0	1820	8,3
	sX	0,01	3,296	11,82	11,896	0,12	-	-	11,5	46	55,8	2,8	565	0,6
	n	6	6	5	5	5	-	-	5	5	5	6	5	5

Légende:

min: minimum
max: maximum
med: médiane
X: moyenne
sX: écart type
n: nombre

Q: débit
Pt: phosphore total
Nt: azote total
TKN: azote total Kjeldahl
NO_2-NO_3: nitrites et nitrates
OD: oxygène dissous
SOD: saturation en oxygène dissous

Turb: turbidité
MSS: matière solides en suspension
Cl: chlorures dissous
T: température
Cond: conductivité

Parmi les différents paramètres traités dans cette section, la moitié des valeurs de matières solides en suspension excèdent le critère de protection de la vie aquatique à l'embouchure de la rivière, alors que seulement 18% des valeurs le dépassent aux 2 autres stations. Toutes les valeurs de turbidité dépassent l'objectif pour la consommation domestique, environ 50% en dépassent le maximum et 8%, celui établi pour le loisir. Les autres paramètres respectent les critères rapportés par McNeely et al. (1980).

5.3 Apport en éléments nutritifs

Teneurs en phosphore total

A la sortie de la rivière aux Brochets, les variations du phosphore total sont généralement faibles d'une rive à l'autre telles que le font ressortir les moyennes des 3 stations (tableau 6). C'est généralement en juillet que l'écart est le plus grand (annexe 2) entre le côté droit et les parties centrale et gauche de la rivière. Cette différence est le résultat de l'apport du ruisseau aux Castors situé sur la rive gauche un peu plus en amont de la station 9153.

Pour ce qui est du schéma temporel, la figure 8 nous montre des variations très prononcées pour les teneurs de phosphore à l'embouchure. Ces teneurs ne sont pas représentatives de ce qui se passe aux 2 autres stations de la rivière mais réflètent plutôt l'impact causé par les ruisseaux Ewing et aux Castors. En effet, les 2 autres stations de la rivières présentent des valeurs plutôt stables pour la période allant d'avril à novembre 1983 (figure 9). Ainsi, il y a une faible augmentation entre les valeurs obtenues à l'entrée de la rivière au Québec (9119) et celles de la station 9152 puis une forte augmentation à l'embouchure de la rivière (9153). Les teneurs moyennes en phosphore de 0,502 et 4,424 mg/l aux ruisseaux Ewing et aux Castors font passer celle de la rivière de 0,140 à 0,218 mg/l (figure 12). Cette augmentation notée en 1983 avait également lieu pour la période 1979-1982.

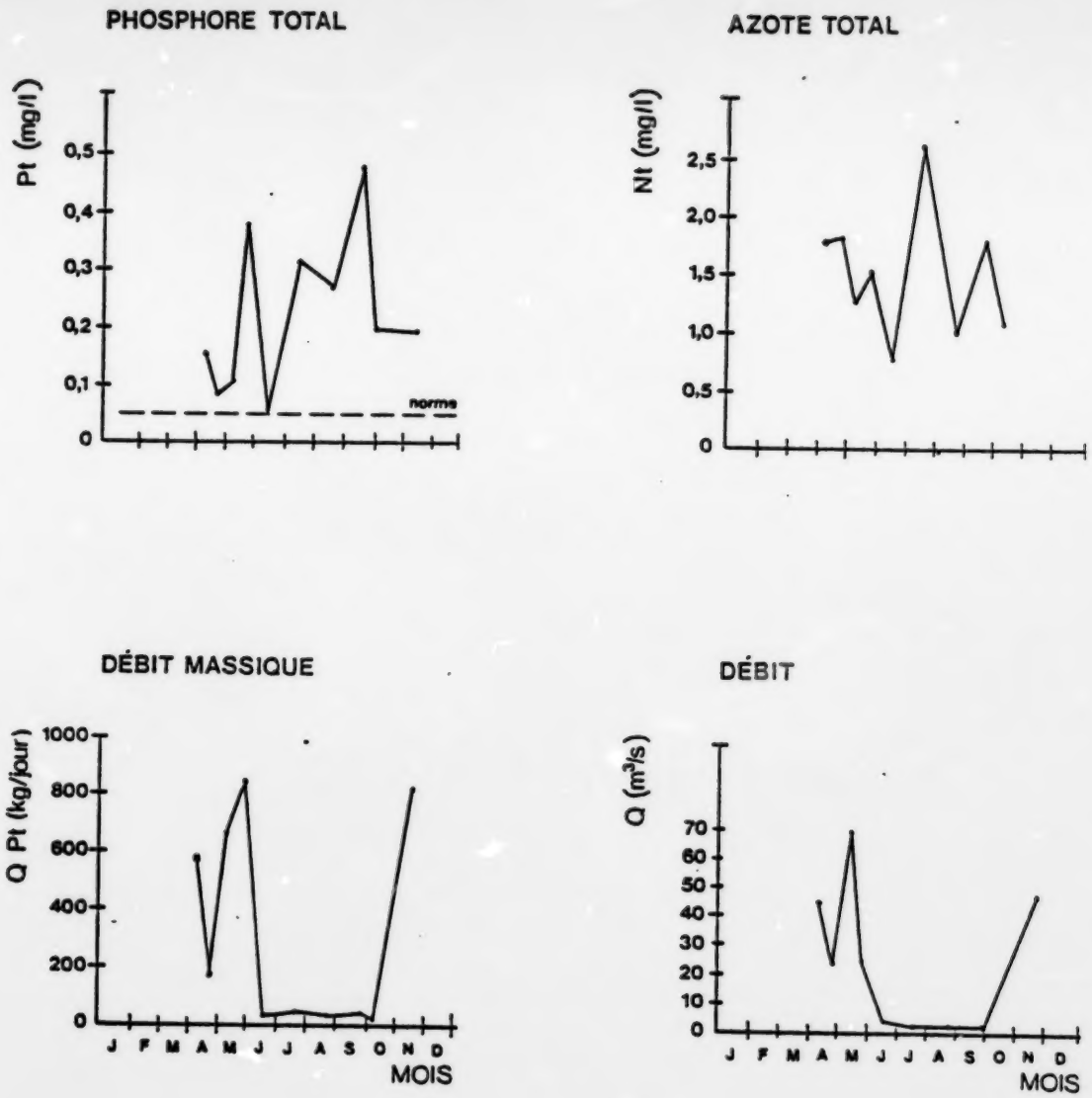


Figure 8: Variations des teneurs en éléments nutritifs et des débits au centre de l'embouchure de la rivière aux Brochets en 1983.

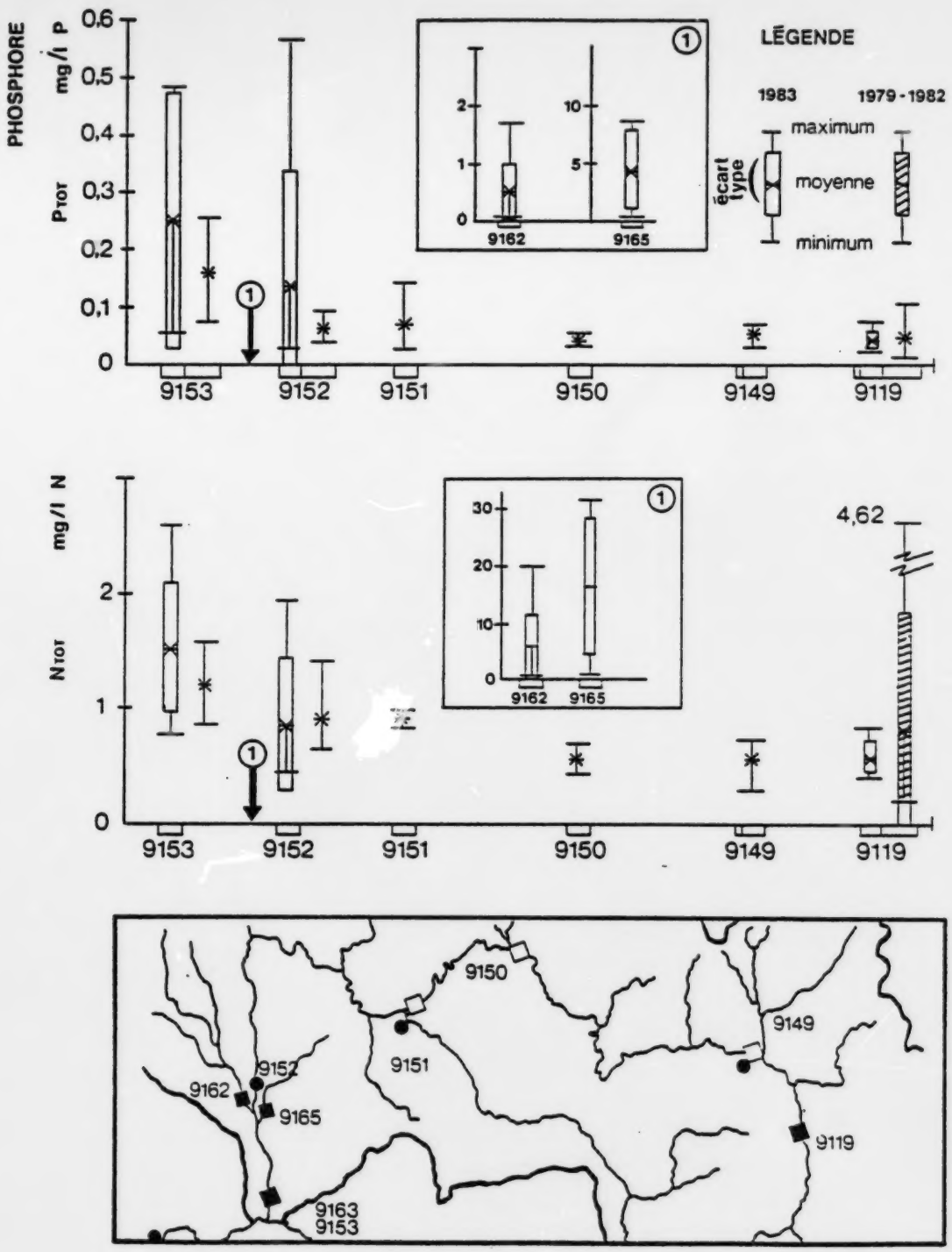


Figure 9: Variations longitudinales du phosphore total et de l'azote total à la rivière aux Brochets et aux ruisseaux Ewing et au Castor.

Teneurs en azote total

A l'embouchure de la rivière, les valeurs moyennes d'azote total varient peu d'une rive à l'autre. Par contre, les valeurs individuelles montrent que les teneurs sont plus élevés du côté gauche de la rivière au printemps (annexe 2) et font ressortir l'influence du ruisseau aux Castors. En été, c'est plutôt du côté droit de la rivière que l'on retrouve les valeurs les plus fortes, côté où se jette le ruisseau Ewing.

Comme nous l'avons observé pour le phosphore, les variations temporelles observées à l'embouchure de la rivière (figure 8) reflètent l'influence des deux ruisseaux sur la composition de l'eau à l'embouchure. C'est en été que nous retrouvons les valeurs les plus élevées. De façon longitudinale, la figure 9 nous montre qu'il y a une faible augmentation de la station 9119 (moyenne de 0,59 mg/l) à la station 9152 (moyenne de 0,85 mg/l), suivie d'une augmentation plus forte à la station 9153 (moyenne de 1,54 mg/l). Cette augmentation avait également été notée au cours de la période 1979-1982.

Rapport azote total sur phosphore total

Dans le cas de la rivière aux Brochets, le rapport Nt/Pt (tableau 7) est supérieur à 5 sauf en 3 occasions. Ces exceptions apparaissent à l'embouchure (9153) en mai et septembre et à la station 9152 en février. Il nous indique que le phosphore est presque toujours l'élément limitant.

Comme le rapport moyen décroît vers l'aval, nous pouvons conclure que la qualité de l'eau de la rivière se dégrade. Cela est évident en comparant les valeurs individuelles des stations 9152 et 9153 pour la période juillet à octobre 1983.

Tableau 7: Rapport Nt/Pt pour les stations de la rivière aux Brochets échantillonnées en 1983.

DATE \ STATION	9119 Tête	9152 Pike River	9153 Embouchure
1983-02-23	16	3	--
1983-04-12	8	--	12
1983-04-19	22	--	22
1983-05-10	16	--	12
1983-05-24	13	--	4
1983-06-14	16	--	--
1983-07-12	12	15	8
1983-08-23	20	9	5
1983-09-21	16	7	4
1983-10-03	11	14	6

-- pas de résultats.

Débits massiques en phosphore total

Les charges en phosphore total ont été calculées pour la rivière aux Brochets (fig. 8) lorsqu'elle se jette à la baie et pour le ruisseau Ewing. La contribution de la rivière à la baie varie de 8 kg/j à 800 kg/j, selon la période d'échantillonnage. La majeure partie du phosphore est apporté à la baie lors des crues. En extrapolant le débit médian journalier de la rivière soit 101,1 kg/j, nous obtenons un apport annuel de 36 900 kg à la baie par la rivière aux Brochets. De cette valeur 14% ou 5 300 kg proviennent du ruisseau Ewing.

Objectifs de la qualité de l'eau

Les valeurs de phosphore total mesurées aux 2 premières stations de la rivière respectent la ligne directrice pour la protection de la vie aquatique. Par contre, dans sa dernière partie, l'apport important des ruisseaux Ewing et aux Castors cause l'augmentation des valeurs du phosphore et le non respect du critère pour la protection de la vie aquatique en rivière. Si nous considérons la valeur de 0,050 mg/l P comme étant le maximum acceptable pour des eaux se jetant dans un lac, la majorité des résultats obtenus à la rivière aux Brochets le dépassent.

6.0 RIVIERE DE LA ROCHE

6.1 Débit

En 1983, nous avons mesuré les débits de la rivière de la Roche à la frontière canado-américaine à la station 9155. A partir de ces débits, nous avons calculé celui à l'embouchure de la rivière en utilisant le rapport des superficies. La figure 10 présente la courbe des débits à l'embouchure de la rivière de la Roche.

Le débit maximal mesuré en période de crue printannière est 500 fois plus élevé que celui de la période d'étiage, soit de 10 m^3/s par rapport à 0,02 m^3/s et le débit médian obtenu est de 0,8 m^3/s. Ce débit médian sera utilisé dans le calcul du débit massique pour les éléments nutritifs.

6.2 Qualité physico-chimique générale de l'eau

En excluant une valeur de turbidité et une valeur de matières solides en suspension au printemps, la qualité de l'eau semble homogène à l'embouchure de la rivière, que ce soit pour les valeurs individuelles ou les valeurs moyennes (tableau 8) du pH, de la conductivité, des chlorures, de la turbidité ou des matières solides.

Durant l'année, les teneurs en oxygène dissous varient de 4,5 à 11,5 mg/l au centre de l'embouchure de la rivière et présentent une valeur moyenne de 7,6 mg/l. La figure 10 présente le pourcentage de saturation en oxygène correspondant à ces valeurs. Il n'y a pas de patron saisonnier qui ressort de cette figure. C'est à la fin août et au début d'octobre que les niveaux y sont les plus bas (50 et 45%).

Le pH varie entre 6,7 et 8,2 dans les eaux de la rivière. Nous

Tableau 8: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées dans la rivière de la Roche en 1983.

STATIONS	STATISTIQUES	Q (m^3/s)	Pt (mg/l P)	Nt (mg/l N)	TKN (mg/l N)	NO_2-NO_3 (mg/l N)	OD (mg/l)	SOD (%)	TURB (UTJ)	MSS (mg/l)	Cl (mg/l)	T (°C)	COND (uS/cm)	pH
9161	X	-	0,103	1,12	0,661	0,46	-	-	12,5	22	-	16,0	290	7,7
Tête	med	-	0,098	1,05	0,599	0,42	-	-	10,0	16	-	19,0	291	7,6
	min	-	0,065	0,57	0,463	0,01	-	-	4	8	-	3,5	233	6,7
	max	-	0,192	1,83	0,911	1,23	-	-	33	68	-	27,0	341	8,0
	sX	-	0,037	0,37	0,166	0,38	-	-	8,8	18	-	8,6		
	n	-	9	9	9	9	-	-	9	9	-	9	9	9
9155	X	3,00	0,119	1,46	0.730	0,73	-	-	15,5	27	-	12,9	341	7,5
Milieu	med	1,20	0,107	1,24	0,603	0,57	-	-	14,5	21	-	14,0	337	7,5
	min	0,04	0,070	0,62	0,503	0,04	-	-	4,7	9	-	0,0	231	7,2
	max	9,86	0,225	3,41	1,580	1,83	-	-	42,0	79	-	26,0	432	8,1
	sX	3,68	0,052	0,80	0,319	0,59	-	-	12,0	20	-	9,4		
	n	9	11	10	10	10	-	-	11	11	-	11	10	10
9169	X	-	0,112	1,19	0,67	0,52	-	-	15,7	21	11,5	13,8	312	7,4
Embouchure,	med	-	0,102	1,07	0,63	0,28	-	-	12,5	14	10,6	15,3	338	7,4
rive	min	-	0,061	0,69	0,49	0,02	-	-	2,3	4	6,8	1,8	219	6,9
droite	max	-	0,221	1,98	1,07	1,44	-	-	47,0	85	18,9	25,4	389	8,2
	sX	-	0,053	0,48	0,19	0,52	-	-	13,6	23	4,0	8,5		
	n	-	10	9	9	9	-	-	10	10	10	10	10	
9160	X	2,75	0,123	1,20	0,718	0,54	7,6	71	16,1	23	11,3	13,8	314	7,4
Embouchure,	med	0,80	0,111	1,00	0,743	0,23	6,6	74	12,5	16	10,6	15,5	322	7,4
centre	min	0,02	0,056	0,82	0,421	0,03	4,5	34	2,8	5	5,9	2,1	225	7,0
	max	10,02	0,237	2,13	0,940	1,51	11,5	87	48,0	94	18,6	24,9	396	8,0
	sX	3,66	0,060	0,46	0,156	0,53	2,6	15	14,5	26	4,0	8,3		
	n	10	10	10	8	9	10	9	10	10	10	10	10	
9170	X	-	0,111	1,14	0,661	0,48	-	-	13,4	16	11,1	13,9	311	7,4
Embouchure,	med	-	0,106	0,95	0,610	0,20	-	-	12,5	13	10,3	15,5	310	7,4
rive	min	-	0,47	0,71	0,400	0,02	-	-	2,3	6	5,1	2,5	231	7,0
gauche	max	-	0,178	1,94	1,010	1,24	-	-	36,0	43	18,9	25,0	389	7,7
	sX	-	0,049	0,44	0,231	0,48	-	-	11,2	12	4,3	8,3		0,2
	n	-	10	9	9	9	-	-	10	10	10	10	9	10

Légende:

min:	minimum	Q:	débit	Turb:	turbidité
max:	maximum	Pt:	phosphore total	MSS:	matière solides en suspension
med:	médiane	Nt:	azote total	Cl:	chlorures dissous
X:	moyenne	tKN:	azote total Kjeldahl	T:	température
sX:	écart type	NO_2-NO_3:	nitrites et nitrates	Cond:	conductivité
n:	nombre	OD:	oxygène dissous		
		SOD:	saturation en oxygène dissous		

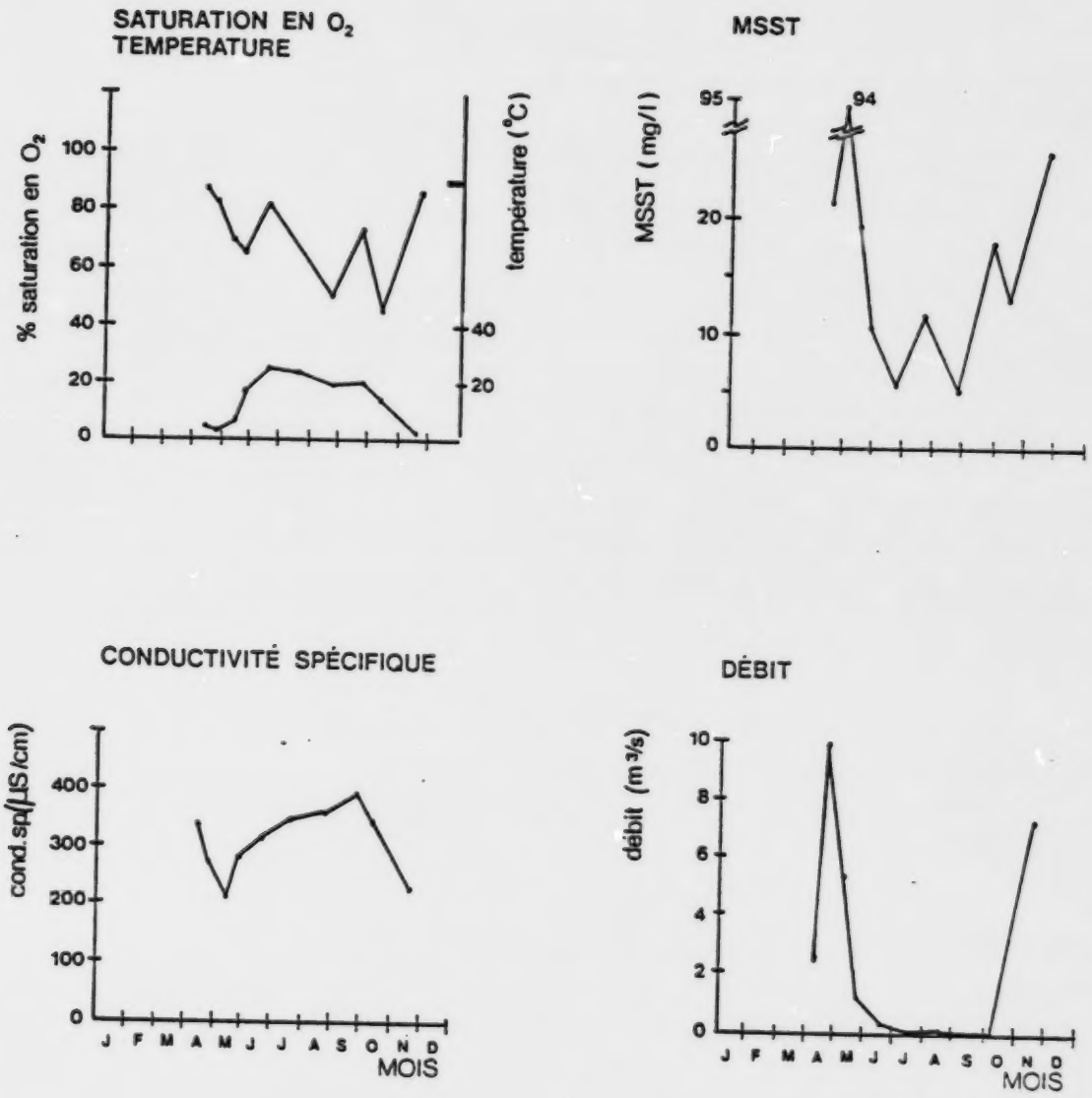


Figure 10: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de l'embouchure de la rivière de la Roche (station 9160) en 1983.

n'observons pas de variations saisonnières, comme aux deux autres rivières. La nature ou type de sol en place (calcaire, dolomie) est probablement plus apte à absorber l'impact de la fonte des neiges. De l'amont vers l'aval, il n'y a pas de variation significative du pH.

La conductivité (figure 10) nous montre l'effet de dilution sur les solides dissous que nous amène l'augmentation du ruissellement en période de crue. A l'intérieur de la partie québécoise du cours d'eau, le degré de minéralisation de la rivière augmente (291 à 341 uS/cm en moyenne) puis diminue dans la partie américaine (moyenne de 314 uS/cm).

La turbitidé et les matières solides en suspension (figure 10) présentent un patron semblable à celui du régime hydrologique. Les hautes valeurs sont retrouvées au printemps et à l'automne. Les teneurs moyennes de ces variables semblent nous montrer qu'il y a augmentation de ces paramètres dans la portion québécoise de la rivière (tableau 8).

En ce qui concerne les principes directeurs pour différents usages de l'eau, les valeurs de turbidité excèdent la limite maximale pour la consommation domestique dans 64% des cas et la quantité de matières solides en suspension dépasse celui pour la protection de la vie aquatique 22% du temps.

6.3 Apports en éléments nutritifs

Teneurs en phosphore total

Les teneurs en phosphore total à l'embouchure de la rivière sont semblables d'une rive à l'autre (fig. 11), comme nous l'indiquent les teneurs moyennes (0,112, 0,123 et 0,111 mg/l P). De façon temporelle, la figure 11 nous montre que les plus hautes valeurs sont mesurées lors des crues, à l'exception d'une valeur en juillet.

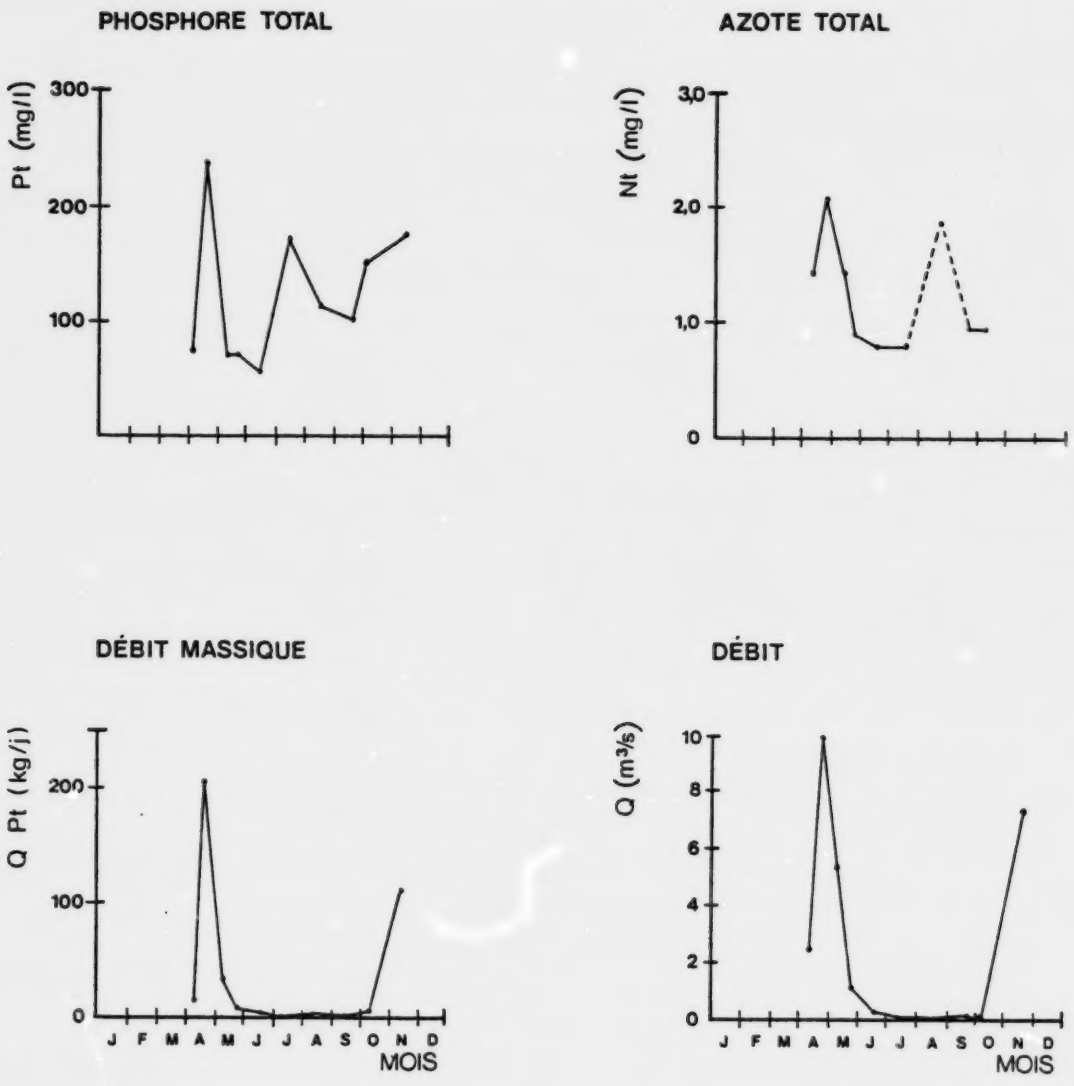


Figure 11: Variations des teneurs en éléments nutritifs et des débits au centre de l'embouchure de la rivière de la Roche en 1983.

Généralement, les concentrations en phosphore sont semblables le long du parcours de la rivière en 1983. Par contre, c'est à la station de l'embouchure que nous retrouvons les valeurs les plus élevées (fig. 12) et c'est en juillet que les valeurs mesurées aux 3 stations sont les plus différentes. Durant cette période d'étiage, le débit de la rivière n'est plus que de 0,02 m^3/s, ce qui en fait un cours d'eau presque stagnant. Nous pouvons alors observer que les teneurs en phosphore augmentent beaucoup de l'amont vers l'aval (0,065 à 0,118 à 0,171 mg/l en P). Cela représente une augmentation de 82% de l'entrée à la sortie de la rivière du sol québécois et 165% entre l'entrée au Québec et l'embouchure aux Etats-Unis. Pour la période 1979-1982, les concentrations moyennes nous montraient que la rivière avait un comportement semblable à l'intérieur de la portion québécoise.

Teneurs en azote total

Les moyennes des valeurs en azote de la rivière nous indiquent qu'elle est homogène à son embouchure (tableau 8), tout comme pour les autres composantes de l'eau. A la figure 11, nous pouvons observer que c'est en période de crue que nous mesurons les plus hautes valeurs d'azote. Le ruissellement amène de fortes charges de matières en suspension et se fait sentir fortement sur les teneurs en éléments nutritifs au printemps. Dans cette courbe, la partie hachurée représente une courbe estimée. Nous avons fait cette estimation à partir des résultats des échantillons prélevés dans les parties gauche et droite à l'embouchure, l'échantillon pris au centre ayant été perdu lors du transport.

Rapport azote total sur phosphore total

Le tableau 9 nous présente le rapport azote total/phosphore total pour les échantillons prélevés à la rivière de la Roche en 1983. Nous

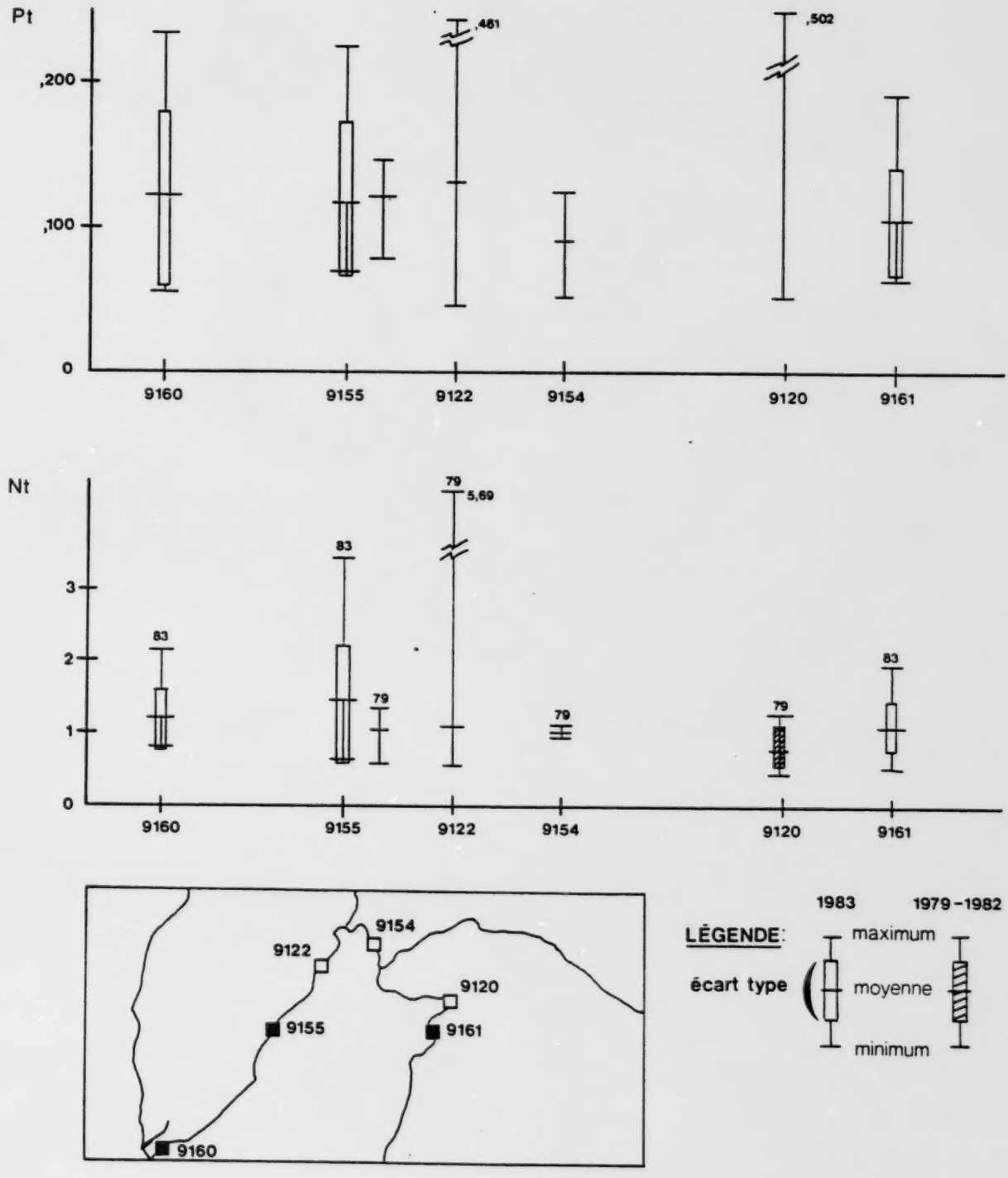


Figure 12: Variations longitudinales du phosphore total et de l'azote total à la rivière de la Roche en 1983.

obtenons un rapport égal à 5 deux fois, soit au mois de juillet à l'embouchure et au mois de septembre à la station 9155. Ceci nous indique que l'azote pourrait parfois être le facteur limitant la croissance des plantes dans ce cours d'eau. Ce rapport nous indique également que la qualité de l'eau de la rivière est très variable. En effet, si nous comparons les rapports de l'amont vers l'aval à une date donnée, ils peuvent décroître, alors qu'ils peuvent augmenter à la tournée suivante.

Débits massiques en phosphore total

La figure 11 présente les débits massiques du phosphore à la baie pour la période avril-novembre 1983. De façon identique aux 2 autres rivières à l'étude, cette courbe suit celle du débit. C'est en période de crues qu'il y a la plus grande quantité d'éléments nutritifs transportés par la rivière. Les débits massiques journaliers varient de 0,3 à 205 kg/j et la charge massique médiane se situe à 4,5 kg/j. En extrapolant cette valeur pour toute l'année, nous obtenons un apport à la baie de 1643 kg/an.

Objectifs de la qualité de l'eau

Pour les échantillons prélevés, les valeurs de phosphore dépassent le critère de protection de la vie aquatique en rivière dans 56% des cas. Si nous considérons plutôt celui établi pour les rivières qui se jettent dans un lac, 98% des résultats le dépassent. Pour l'azote, seul l'objectif établi pour la consommmation domestique est dépassé. Les autres critères sont respectés.

Tableau 9: Rapport Nt/Pt pour les stations de la rivière de la Roche échantillonnées en 1983.

STATIONS / DATE	9161 Entrée au Québec	9155 Sortie du Québec	9160 Embouchure
1983-04-14	16	21	20
1983-04-21	10	10	9
1983-05-12	12	19	21
1993-05-26	14	13	13
1983-06-16	11	16	15
1983-07-14	9	7	5
1983-08-25	10	13	--
1983-09-21	11	5	10
1983-11-05	7	10	6

7.0 BAIE MISSISQUOI

7.1 Qualité physico-chimique générale de l'eau

On présente au tableau 10 les statistiques descriptives des variables physico-chimiques analysées dans la baie Missisquoi en 1983.

Les courbes des variations temporelles du pourcentage de saturation en oxygène dissous et de la température apparaissent à la figure 13. Nous observons en été (juin, juillet) une forte augmentation de la teneur en oxygène dissous. Les teneurs en chlorophylle "a" et les valeurs de transparence au disque de Secchi n'expliquent pas ces forts pourcentages en oxygène dissous. Seule une surestimation des mesures par les appareils peut expliquer les pourcentages de saturation élevés retrouvés en juin et juillet.

Les concentrations des chlorures varient entre 4,2 et 7,2 mg/l et la concentration moyenne est de 6,2 mg/l (tableau 10). C'est au mois de mai que les valeurs sont les plus faibles, reflétant la dilution amenée par la fonte des neiges. Après cette faible valeur, les niveaux augmentent lentement jusqu'en octobre, dernier mois où nous avons échantillonné dans la baie. L'écart entre les minimums et les maximums observé dans les eaux de la baie est plus faible que celui observé en rivières. La valeur minimale observée dans la baie reflète l'apport des rivières, alors que les volumes d'eau amenés par les tributaires sont significatifs par rapport au volume de la baie. En période d'étiage, les apports des tributaires sont beaucoup plus faibles et leurs impacts sur la composition chimique de l'eau de la baie sont dilués par le volume de la baie.

Les valeurs du pH à la baie Missisquoi sont reliées aux conditions hydrologiques. Les valeurs les plus faibles (6,7) sont obtenues au printemps, lors de la crue, alors que les valeurs les plus élevées sont mesurées en été (8,8).

Tableau 10: Statistiques descriptives pour différentes variables physico-chimiques analysées dans la Baie Missisquoi en 1983.

STATIONS	STATISTIQUES	Pt (mg/l P)	Nt (mg/l N)	TKN (mg/l N)	NO_2-NO_3 (mg/l N)	OD (mg/l)	SOD (%)	Chl "a" (m)	DS (m)	TURB (UTJ)	MSS (mg/l)	Cl (mg/l)	T (°C)	COND (uS/cm)	pH
9157	X	0,044	0,59	0,387	0,204	10,1	100	10,1	2,21	3,5	4	6,0	13,8	126	7,7
	med	0,042	0,58	0,346	0,100	10,5	103	5,4	1,83	2,8	3	6,2	17,0	126	7,5
(Missisquoi)	min	0,023	0,36	0,266	0,010P	8.0	73	0,1P	0,85	1,5	1	4,2	0	81	6,7
	max	0,067	0,90	0,888	0,490	12,3	142	42,4	3,70	8,3	9	7,1	22,1	209	8,8
	sX	0,015	0,21	0,181	0,219	1,5	22	14,0	0,99	2,1	2	1,0	8,1	33	0,6
	n	10	10	10	10	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10
9158	X	0,048	0,65	0,393	0,229.	9,9	102	11,1	1,65	4,0	6	6,3	13,8	137	7,7
	med	0,040	0,50	0,392	0,750	10,0	97	5,3	1,40	3,5	6	6,5	17,0	125	7,6
Venise-	min	0,024	0,29	0,278	0,010 P	8,0	64	0,5	0,90	1,2	1	5,2	0	120	7,3
en-	max	0,099	1,12	0,585	0,700	12,5	151	39,5	3,20	8,3	12	7,2	23,8	206	8,4
Québec	sX	0,025	0,31	0,099	0,268	1,7	27	12,6	0,82	2,6	4	0,6	8,6	27	0,3
	n	10	9	9	10	8	8	9	8	10	10	10	10	10	10

Légende:

min:	minimum	Q:	débit	Turb:	turbidité
max:	maximum	Pt:	phosphore total	MSS:	matière solides en suspension
med:	médiane	Nt:	azote total	Cl:	chlorures dissous
X:	moyenne	TKN:	azote total Kjeldahl	T:	température
sX:	écart type	NO_2-NO_3:	nitrites et nitrates	Cond:	conductivité
n:	nombre	OD:	oxygène dissous		
		SOD:	saturation en oxygène dissous	Chl "a":	chlorophylle
				P:	plus petit que
				DS:	disque de Secchi

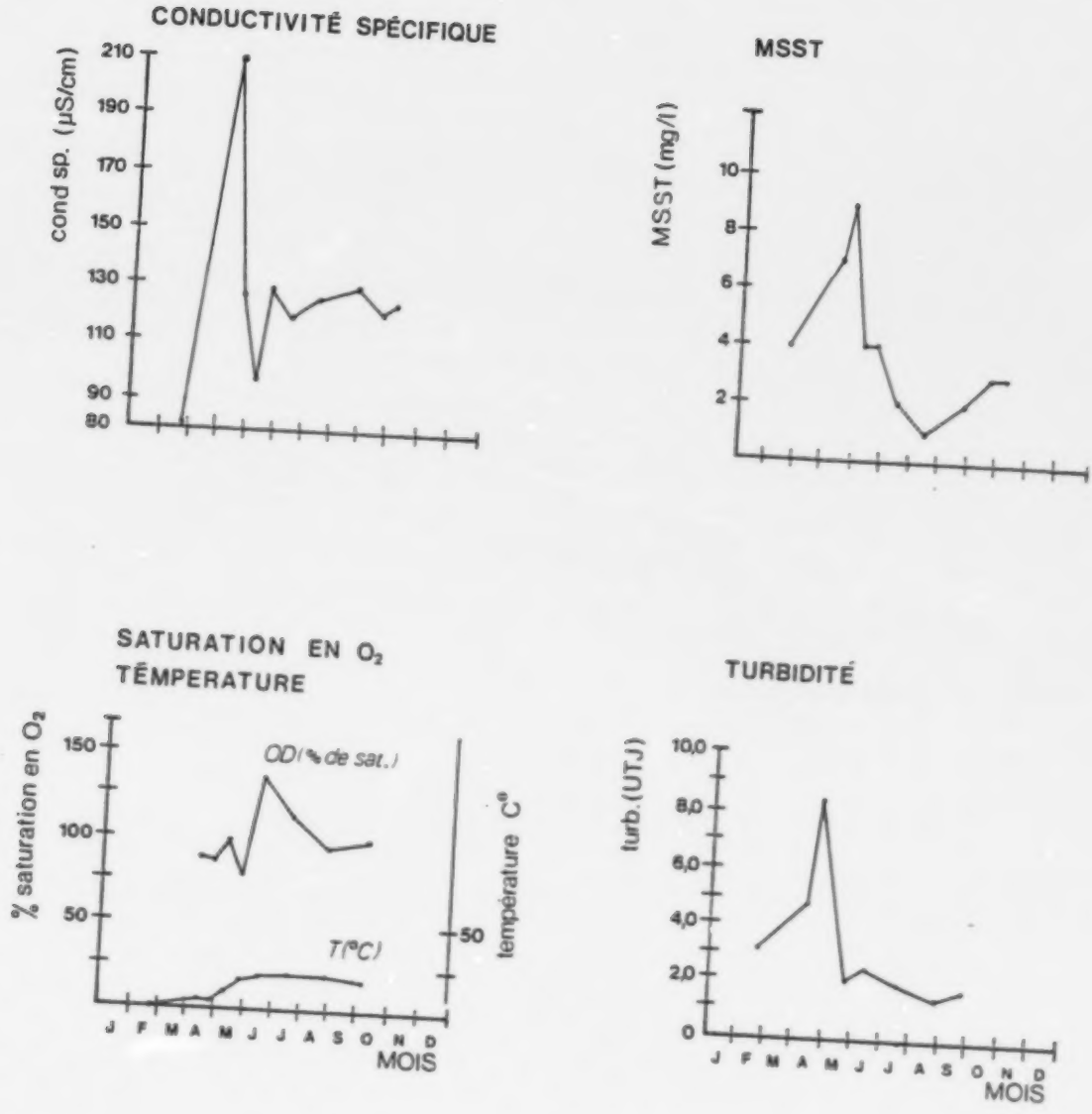


Figure 13: Variations temporelles de variables physico-chimiques au centre de la baie Missisquoi (station 9157) en 1983.

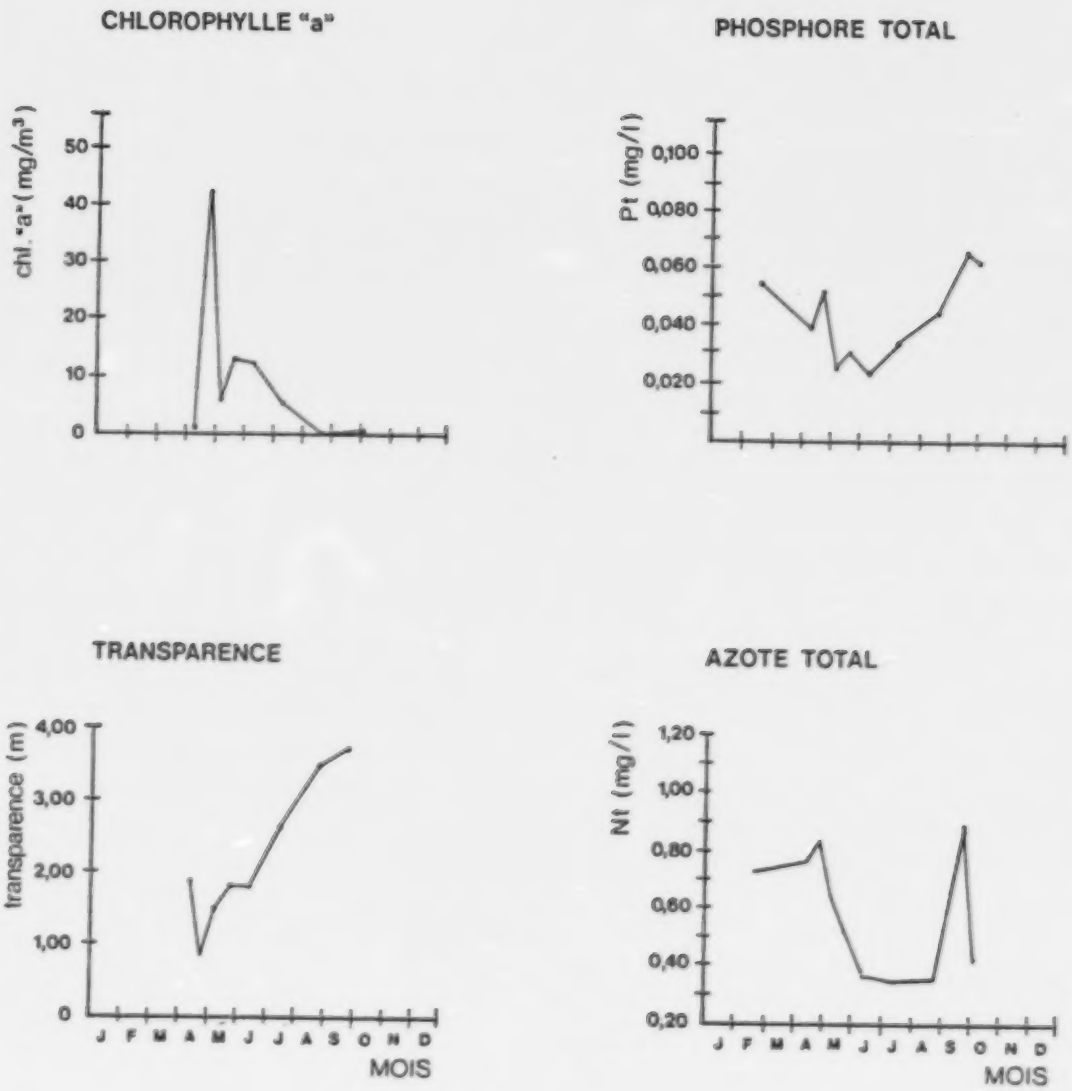


Figure 14: Variations de la productivité primaire et des éléments nutritifs au centre de la baie Missisquoi (station 9157) en 1983.

Les conductivités spécifiques (fig. 13) varient entre 87 et 209 S/cm pour l'ensemble de la baie en 1983 et la moyenne est de 123 S/cm. Lorsque nous regardons le cycle saisonnier de la conductivité, nous observons qu'au printemps, les valeurs augmentent, contrairement à ce qui se passe habituellement dans les lacs. Cette augmentation est causée par l'apport des rivières aux Brochets et de la Roche, qui font augmenter la concentration des solides dissous dans la baie. Pour le reste de l'année, les résultats sont assez constants.

En ce qui concerne les matières solides en suspension et la turbidité, les moyennes sont respectivement de 4 mg/l et 3,5 UTJ. Les cycles annuels de ces deux paramètres suivent celui du régime hydrologique des rivières.

7.2 Productivité et éléments nutritifs

Chlorophylle "a" et transparence au disque de Secchi

La chlorophylle "a" et la transparence du disque de Secchi sont des variables qui estiment la biomasse phytoplanctonique et qui reflètent l'état trophique d'un lac (Potvin, 1976; Wetzel, 1975).

Les variations temporelles de la chlorophylle "a" (fig. 14) au centre de la baie Missisquoi (9157) sont semblables à celles que l'on retrouve au centre de la baie de Venise-en-Québec (9158). Les teneurs en chlorophylle "a" augmentent fortement au mois d'avril pour diminuer progressivement jusqu'à l'automne. Elles varient de valeurs inférieures à 0,1 à 42,4 et de 0,5 à 39,5 mg/m^3 pour les stations du centre de la baie Missisquoi et du centre de la baie de Venise-en-Québec respectivement (tableau 10). Mathieu et al. (1979), classent les lacs ayant entre 5 et 15 mg/m^3 de chlorophylle "a" au stade mésotrophe. Les résultats que nous avons obtenus placent la baie au stade mésotrophe en 1983.

A la figure 14 apparaissent les variations temporelles de la transparence mesurée avec le disque de Secchi pour la station de la baie Missisquoi (9157). On retrouve une courbe semblable à la station 9158 (annexe 2). La transparence suit une courbe inverse à celle présentée par les teneurs en chlorophylle "a": après une diminution de la transparence au mois d'avril, celle-ci augmente progressivement jusqu'au mois d'octobre. La transparence mesurée par le disque de Secchi varie de 0,85 à 3,70 et de 0,90 à 3,20 m pour la station du centre de la baie Missisquoi et du centre de la baie de Venise-en-Québec respectivement (tableau 10). La moyenne est plus élevée à la station de la baie Missisquoi (2,21 m) qu'à celle de Venise-en-Québec (1,65 m), ce qui nous indiquerait une productivité phytoplanctonique plus grande à cette dernière station.

Eléments nutritifs

La figure 14 présente les variations temporelles des teneurs en phosphore total au centre de la baie Missisquoi (9157). Les teneurs élevées en hiver diminuent au milieu du printemps pour augmenter progressivement jusqu'à l'automne. On retrouve le même patron à la station au centre de la baie de Venise-en-Québec (9158), mais toutefois avec des valeurs plus élevées en hiver et en automne (annexe 2).

On ne peut pas expliquer la forte diminution observée dans la baie par la variation des teneurs aux embouchures des tributaires. Celles-ci affichent peu ou pas de diminution pendant l'été (figures 9, 11, 14). Ce serait plutôt l'assimilation rapide du phosphore par les plantes ou les microorganismes qui serait responsable de cette diminution.

Pour la période 1979-1982 nous avons très peu de résultats. Au centre de la baie Missisquoi les 3 teneurs observées pour cette période sont supérieures à celles que l'on retrouve en 1983 et cela de façon très

marquée en été. Au centre de la baie de Venise-en-Québec, nous retrouvons la même situation. Avec des concentrations en phosphore supérieures à 0,030 mg/l au printemps, les eaux de la baie Missisquoi sont considérées comme étant eutrophes.

On présente à la figure 14 les variations temporelles de l'azote total à la station du centre de la baie Missisquoi. Les teneurs sont élevées en hiver, puis s'abaissent progressivement au printemps, se stabilisent en été, produisent une pointe et reviennent aux niveaux estivaux à l'automne. On retrouve un patron similaire pour la station du centre de la baie de Venise-en-Québec, avec cependant un pic beaucoup moins prononcé à l'automne (annexe 2). A l'instar de ce qui se produit au trois tributaires, les hautes teneurs en azote total relevées à l'hiver et au printemps sont dues aux teneurs plus élevées en nitrites et nitrates (annexe 2). Ces dernières s'expliquent par une décomposition plus intense de la biomasse phytoplanctonique par les bactéries.

Les teneurs en azote total varient de 0,39 à 0,90 et de 0,29 à 1,12, avec des moyennes de 0,09 et 0,65 mg/l pour les stations du centre des baies Missisquoi et de Venise-en-Québec respectivement. Une comparaison avec les valeurs obtenues pour la période 1979-1982 indique que les teneurs en azote total retrouvées en 1983 sont plus basses.

Les valeurs calculées pour le rapport azote total sur phosphore total sont présentées au tableau 11. Le phosphore est l'élément limitant aux deux stations échantillonnées, sauf au mois d'octobre dans la baie de Venise-en-Québec. Les rapports Nt/Pt du centre de la baie de Venise-en-Québec étant inférieurs à ceux du centre de la baie Missisquoi, l'eau y semble plus dégradée à cette période de l'année. Cependant pour l'ensemble de l'année, il ne semble pas y avoir de différence entre les deux stations. Les résultats obtenus correspondent à ce qui est retrouvé pour les trois tributaires pour le rapport Nt/Pt.

Objectifs de la qualité de l'eau:

La majorité de nos résultats pour le phosphore total (80%) est supérieure au critère de 0,025 mg/L en P pour la protection de la vie aquatique (McNeely et al., 1980). Les teneurs médianes sont presque deux fois plus élevées que ce critère alors que nos résultats maximums atteignent de 3 à 4 fois ce niveau. Nous sommes donc loin des teneurs retrouvées dans les lacs oligotrophes, soit 0,01 mg/l.

Il n'y a pas de principe directeur pour la chlorophylle "a". Cependant la pénétration de la lumière doit être supérieure à 1,2 m (McNeely et al., 1980) pour les eaux des régions de loisirs. C'est ce qui est majoritairement retrouvé à la baie Missisquoi.

8.0 DISCUSSION

En général, la qualité des eaux des tributaires ne varie pas de façon significative de la tête à l'embouchure, sauf à la rivière aux Brochets. Pour cette dernière, tout porte à croire que ses deux tributaires, les ruisseaux Ewing et aux Castors, sont la cause principale de la dégradation observée dans le dernier tronçon. Ces deux petits cours d'eau dépassent de loin la ligne directrice (0,100 mg/l) pour la protection de la vie aquatique avec, entre autres, des valeurs maximales de phosphore de 1,7 et 8,9 mg/l respectivement. Les valeurs pour la turbidité et les matières solides en suspension dépassent également les lignes directrices.

Une comparaison des données de 1983 avec celles de la période couvrant 1979 à 1982 ne montre pas de différence pour l'ensemble des variables, sauf pour les teneurs en phosphore total à la baie. Aux deux stations de la baie, les teneurs en phosphore semblent plus basses à l'été 1983 que pendant les autres années échantillonnées.

Lorsque nous comparons les trois tributaires, nous observons que les moyennes pour toutes les variables, sauf l'oxygène dissous et la conductivité, décroissent de la rivière aux Brochets, à la rivière de la Roche, à la rivière Missisquoi. La saturation en oxygène décroît dans l'ordre des rivières Missisquoi, aux Brochets et de la Roche. L'absence de turbulence dans la dernière portion de la rivière de la Roche expliquerait le plus grand déficit en oxygène dissous que nous y retrouvons. Pour la conductivité, l'ordre décroît de la rivière de la Roche à la rivière aux Brochets puis à la rivière Missisquoi.

Parmi les paramètres considérés, les concentrations mesurées pour le phosphore total excèdent majoritairement les lignes directrices pour la protection de la vie aquatique pour les cours d'eau se jetant dans un lac. Egalement, les teneurs des matières solides en suspension et de la turbidité dépassent ou se rapprochent des lignes directrices.

Les hautes teneurs en matières solides en suspension retrouvées dans les trois rivières étudiées indiquent que l'érosion des sols est un problème important dans le bassin de la baie Missisquoi. Cette érosion provient principalement des activités agricoles et entraîne également des apports élevés en matières nutritives. Ainsi, Potvin (1976) attribue des coefficients d'exportation de phosphore (g P/m^2 an) de 0,050 aux grandes cultures, cultures maraîchères et spéciales (tabac, pomme de terre, betterave à sucre); de 0,025 aux vergers, pâturages semi-naturels et priaires, terres en friche; de 0,005 à 0,012 pour les forêts. Une comparaison des valeurs de phosphore total et des matières solides en suspension pour la rivière Missisquoi, drainant un territoire agricole, et pour le ruisseau Leach, qui draine un sol voisin presque totalement boisé, fait ressortir clairement cet état de fait. Pour la période 1979 et 1980, nous retrouvions respectivement pour chaque cours d'eau des moyennes de phosphore total de 0,048 et 0,019 mg/l et, 14,0 par rapport à 3,7 mg/l pour les matières solides en suspension (Sloterdijk et Guay, 1982).

En reliant les concentrations de phosphore mesurées pour chacun des tributaires à leurs débits respectifs, nous avons évalué que la charge en phosphore total apporté à la baie Missisquoi par les trois tributaires s'élève à 104 847 kg en 1983. C'est la rivière Missisquoi qui apporte la plus grande quantité de phosphore, soit 66 587 kg/an (63%). La rivière aux Brochets, avec 36 764 kg/an, contribue pour 35% de la charge totale alors que la rivière de la Roche en amène 1 673kg /an (2%). Il est intéressant de noter qu'en période de crue, les apports journaliers de la rivière aux Brochets sont presqu'aussi élevés que ceux de la rivière Missisquoi (tableau 12).

Henson et Potash (cités par Hensen et Gruendling, 1977) ont calculé que la charge totale annuelle en phosphore de ces trois rivières était de 85 241 kg pour la période 1970-1974. Cela représente 19% de moins que ce que nous avons calculé. Les charges provenant des rivières Missisquoi et

de la Roche étant semblables, la différence provient de l'apport de la rivière aux Brochets. Cet écart dans les charges calculées est surtout dû à la façon de faire le calcul. Henson et Potash calculaient l'apport de la rivière à la baie en multipliant la médiane en phosphore total et le débit moyen, extrapolé à l'embouchure de la rivière.

Ces apports font que les teneurs en phosphore total (0,050 mg/l) mesurées au printemps dans la baie sont caractéristiques des milieux eutrophes alors que la productivité mesurée à la baie ne reflète pas cet état de fait. Ainsi, les valeurs estivales de la chlorophylle "a" (5 mg/m^3) et la transparence de l'eau (2,5 m) mesurée au moyen du disque de Secchi sont caractéristiques de milieux mésotrophes.

Certains facteurs, autres que les éléments nutritifs peuvent affecter la productivité phytoplanctonique d'un plan d'eau. Ces facteurs sont le temps de renouvellement de la masse d'eau, la profondeur moyenne, le coefficient de rétention du lac (fraction du phosphore retenu dans le lac) et l'oxygène dissous près du fond. Henson et Gruendling (1977) notent que la faible profondeur et le court temps de rétention de la baie ne permettent pas le développement de certaines caractéristiques eutrophes. De plus, ils estiment que 95% du phosphore amené à la baie en sort et contribue à l'eutrophisation des autres parties du lac Champlain.

Il nous est impossible de comparer directement la production phytoplanctonique de la baie à celle des années précédentes parce qu'elle était alors mesurée au moyen de bioessais utilisant l'algue Selenastrum capricornutum (Couture et al. 1982). Couture et al. (1982) concluaient que l'azote était le facteur limitant à l'embouchure de la rivière aux Brochets et à la baie Missisquoi en juillet 1981, année où il y a eu une floraison d'algues.

Tableau 11: Rapport Nt/Pt pour les stations de la baie Missisquoi en 1983.

STATIONS / DATE	9157 Missisquoi	9158 Venise-en-Québec
1983-02-24	13	11
1983-04-13	20	19
1983-04-20	16	19
1983-05-11	25	39
1983-05-25	16	20
1983-06-14	17	20
1983-07-13	11	8
1983-08-22	8	--
1983-09-19	13	6
1983-10-03	7	4

-- non calculé

Tableau 12: Débits massiques en phosphore total (QP_t) aux embouchures des rivières Missisquoi (9128), aux Brochets (9153) et de la Roche (9160).

DATE	QP_t (kg/j)		
	9128	9153	9160
1983-04	851	581	17
1983-04	311	172	205
1983-05	704	651	34
1983-05	444	832	7
1983-06	29	15	2
1983-07	42	29	0,3
1983-08	25	16	0,6
1983-09	54	28	0,4
1983-10	31	9	0,7
1983-11	808	810	112
médiane	182	101	4,5

Lorsque l'azote devient le facteur limitant, le rapport azote total/phosphore total est inférieur à 5. En 1983, nos résultats montrent que ce rapport est de 11 en juillet, et indiquent que l'azote n'est pas l'élément limitant dans la baie. La productivité phytoplantonique de 1983 serait donc inférieure à celle d'années antérieures. Il serait cependant nécessaire de documenter cette productivité phytoplanctonique dans les années qui viennent pour mieux comprendre la façon dont les éléments nutritifs sont utilisés à la baie.

9.0 CONCLUSION

Les concentrations élevées en phosphore retrouvées dans la rivière aux Brochets laissaient supposer que cette rivière était la plus importante du point de vue des apports en éléments nutritifs à la baie. En faisant le calcul des charges, nous avons réalisé que c'est plutôt la rivière Missisquoi qui en amène la majeure partie (65%) alors que la contribution de la rivière de la Roche est minime (2%). Il est intéressant de noter qu'en période de crue, les charges provenant des deux principaux tributaires sont presque équivalentes.

Certains paramètres mesurés dans la baie montrent que ce plan d'eau est eutrophe (phosphore total, profondeur moyenne faible, conductivité) alors que d'autres paramètres nous indiquent que la baie est plutôt au stade mésotrophe (transparence, chlorophylle "a", saturation en oxygène). À cause justement de la faible profondeur de la baie, le renouvellement des eaux s'y fait rapidement, empêche le développement des conditions eutrophes et fait que la baie est plutôt mésotrophe.

Les paramètres mesurés dans les trois rivières nous montrent qu'elles ne présentent pas de variations importantes au fil des ans. La même conclusion s'applique pour leur gradiant longitudinal, sauf dans la rivière aux Brochets, où il y a une détérioration. Les matières solides sont élevées dans ces trois cours d'eau et reflètent les problèmes d'érosion qui existent dans le bassin. Cette érosion est due en grande partie à de mauvaises pratiques agricoles. Si nous voulons réduire les apports de phosphore à un niveau acceptable à la baie, il sera nécessaire de modifier ces pratiques agricoles.

10.0 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Béguin, R., 1984. Relation entre l'utilisation du territoire d'un bassin versant et la biodisponibilité d'éléments nutritifs transités en rivières: bassin hydrographique de la rivière Yamaska-Nord. Maîtrise en sciences, INRS-Eau, Sainte-Foy, Québec. 66 p.

Bureau of the Census, 1982. Estimation of the Population of Vermont Counties. U.S. Department of Commerce.

Choinière, L., 1984. Description physique des bassins versants des rivières transfrontalières entre le Canada (région du Québec) et les Etats-Unis. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région du Québec, Longueuil. 98 p.

Commission géologique du Canada, 1977. Carte 1334A. Rivière Gatineau. Québec - Ontario, feuille 31, ministère de l'Energie, des mines et des ressources.

Commission géologique du Canada, 1981. Carte 1550A. Sensibilité de la roche en place et des sols dérivés aux précipitations acides, centre sud sud-est du Canada, ministère de l'Energie, des mines et ressources.

Couture, P., R. Shoenert, R. Van Coillie, 1982. Détermination et caractérisation de la fertilité et de la toxicité potentielles de quelques rivières transfrontalières Canada/Etats-Unis. Ministère des Approvisionnements et Services et Environnement Canada, Longueuil Québec. 37 p.

Dupont, C.J., Y. L. Pagé, R. Demers, 1974. Qualité des eaux du lac Memphrémagog. Etude complémentaire, Service de protection de l'Environnement. 103 p.

Environnement Canada, 1983. Echantillonnage pour la qualité de l'eau. Direction de la qualité de l'eau, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa, Canada. 67 p.

Environnement Canada, 1979. Analytical Methods Manual. Environment Canada, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa.

Environnement Québec, M. Miron, communication personnelle.

Germain, A., H. Sloterdijk et J. Bidalle, 1984. Etude de la qualité des eaux de lacs transfrontaliers Canada (région du Québec) - Etats-Unis. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, section des relevés de qualité, région du Québec. 92 p + 41 p. annexe.

Henson, E.B., G.K. Gruendling, 1977. The Trophic Status and Phosphorus Loadings of Lake Champlain. U.S. Environemental Protection Agency and Environemental Research Laboratory, Corvalis, Oregon. 141 p.

Herschy, R.W., 1978. "Hydrometry Principles and Practices". Wiley publications, Great Britain. 511 p.

Mathieu, P., P. Gentes et J.P. Gauthier, 1979. Méthode numérique d'évaluation de l'état trophique des lacs. Ministère des Richesses naturelles. Gouvernement du Québec. 57 p.

Ministère des Affaires Municipales, 1982. Répertoire des municipalités du Québec 1981. Gouvernement du Québec. 533 p.

McCormack, R., 1981. Etude hydrogéologique du bassin de la rivière Richelieu. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Direction générale des inventaires et de la recherche, Programme de connaissances intégrées, Service des eaux souterraines. 210 p.

McNeely, R.N., V.P. Neimanis, L. Dwyer, 1980. Références sur la qualité des eaux - Guide des paramètres de la qualité des eaux. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa, Canada. 100 p.

Potash, M., E.B. Henson, 1974. "Materials Input of Lake Champlain: A Synoptic Appraisal". Water Resources Bulletin, American Water Resources Association, vol. 10, no. 2. pp. 348-359.

Potvin, P., 1976. Relation entre l'état trophique d'un lac et l'utilisation du territoire dans son bassin versant. Thèse maîtrise en Sciences, Institut National de la recherche scientifique en eau, Université du Québec, Saint-Foy, Québec. 137 p.

Prévost, M. et L. Trudel, 1985. Etude des sources de dégradation des lacs et des cours d'eau de la MRC Brome-Missisquoi. MRC Brome Missisquoi. 162 pp.

Schwoerbel, J., 1972 Methods of Hydrobiology. (Freshwater Biology) Pergamon press, Toronto. 199 p.

Scotts, 1985. Fabricants du Québec. Southern Communications Ltee., Montréal Canada.

Sloterdijk, H., G. Guay, 1982. Interprétation des résultats des analyses de la qualité de l'eau des rivières transfrontalières du 45ième parallèle. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité de l'eau, Longueuil. 89 p.

United States Environmental Protection Agency, 1976. Quality Criteria for Water. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 856 p.

Vermont Department of Water Resources, 1974. Missisquoi River Bassin Water Quality Management Plan. Agency of Environmental Conservation, Department of Water Resources, Water Quality Division, Montpelier, Vt. 27 p.

Wetzel, R., 1975. Limnology: W.B..Saunders Company, Philadelphia, 743 p.

ANNEXE I

NUMERO ET DESCRIPTION DES STATIONS NAQUADAT DU BASSIN VERSANT DE LA BAIE MISSISQUOI

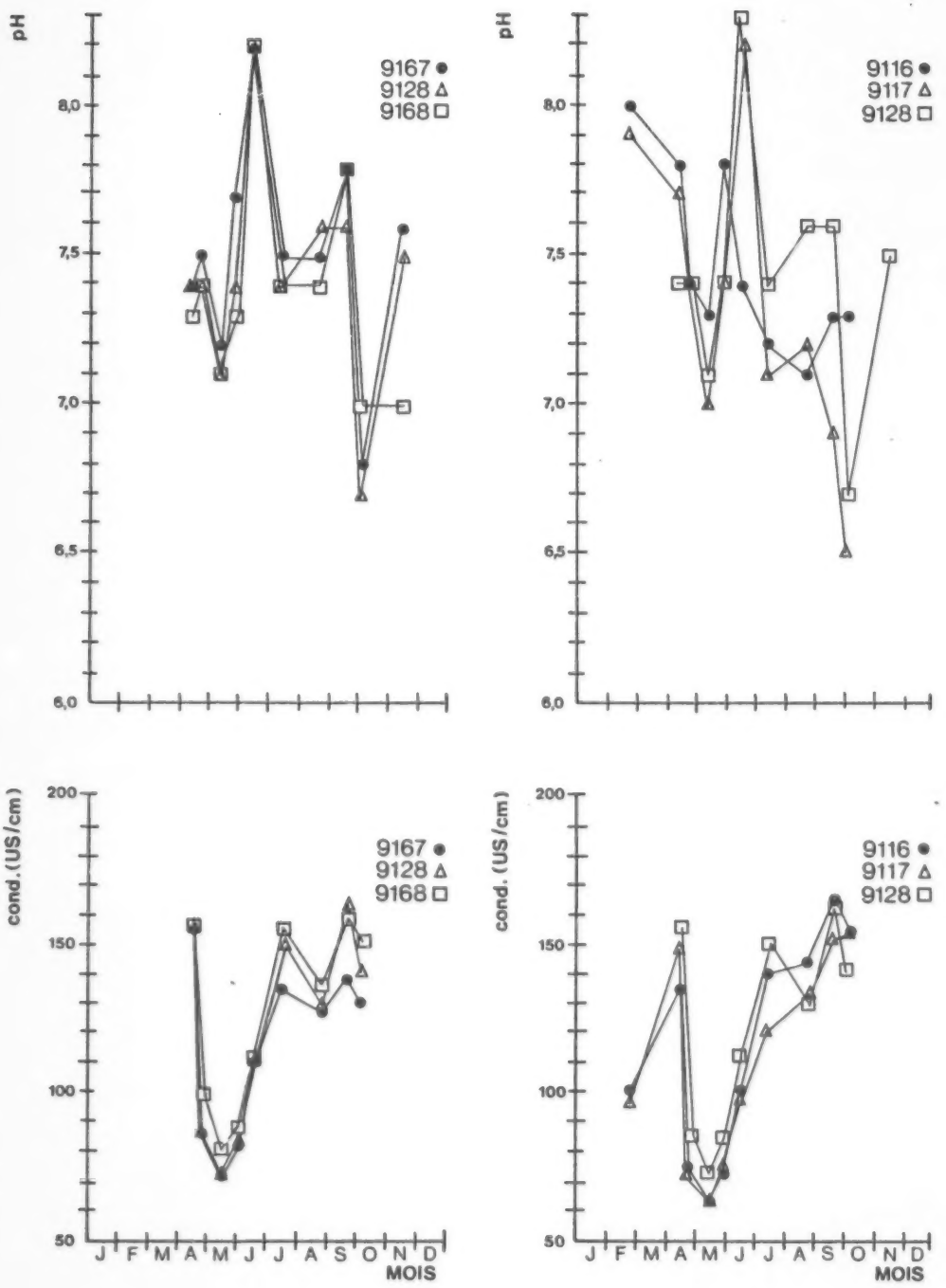
NO. NAQUADAT	LOCALISATION ET DESCRIPTION DES STATIONS
00QU020H9116	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 72D 24M 29S Riv. Missisquoi, au sud du pont du ruisseau Mud
00QU020H9117	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 72D 34M 59S Riv. Missisquoi, sous le pont près d'East Richford
00QU020H9119	LATITUDE 45D 1M 0S LONGITUDE 72D 49M 28S Riv. aux Brochets sous le pont de la route #237 au sud de Frelighsburg
00QU020H9120	LATITUDE 45D 1M 0S LONGITUDE 73D 1M 0S Riv. de la Roche sous le 2ème pont du chemin des Chutes, au sud de la route 202 entre Mitchell Corners et Saint-Armand
00QU020H9122	LATITUDE 45D 1M 59S LONGITUDE 73D 2M 30S Rivière de la Roche sous le pont situé à 850 m au sud de Saint-Armand Station
01QU020H9123	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 73D 4M 59S Lac Champlain, baie Missisquoi sur la frontière, partie extrême est à 800 mètres de la côte est
01QU020H9124	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 73D 7M 30S Lac Champlain, baie Missisquoi sur la frontière, partie est à 2700 mètres de la côte est
01QU020H9125	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 73D 10M 28S Lac Champlain, baie Missisquoi sur la frontière, au centre à 1550 mètres de la côte ouest
01QU020H9126	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 73D 10M 59S Lac Champlain, baie Missisquoi sur la frontière, partie ouest à 550 mètres de la côte ouest
01QU020H9127	LATITUDE 45D 0M 29S LONGITUDE 73D 12M 0S Lac Champlain, baie Missisquoi sur la frontière, au centre de la baie Chapman
00US020H9128	LATITUDE 44D 56M 19S LONGITUDE 73D 7M 24S Rivière Missisquoi à environ 1,5 km en aval du barrage de Swanton, au centre
00QU020J9129	LATITUDE 45D 3M 29S LONGITUDE 73D 19M 59S Riv. Richelieu sous le pont tournant de la voie ferrée à Noyan

NO. NAQUADAT	LOCALISATION ET DESCRIPTION DES STATIONS
00QU020H9149	LATITUDE 46D 3M 29S LONGITUDE 72D 50M 30S Riv. aux Brochets sous le pont de la route #237 à Frelighsburg
00QU020H9150	LATITUDE 45D 7M 30S LONGITUDE 72D 55M 0S Riv. aux Brochets sous le pont de la route #202 à Stanbridge East
00QU020H9151	LATITUDE 45D 7M 30S LONGITUDE 72D 59M 30S Riv. aux Brochets près du barrage à Bedford
00QU020H9152	LATITUDE 45D 7M 30S LONGITUDE 73D 4M 30S Riv. aux Brochets sous le pont de la route #133 à Pike-River
00QU020H9153	LATITUDE 45D 4M 30S LONGITUDE 73D 5M 30S Rivière aux Brochets à son embouchure en amont du ruisseau Crique Noir
00QU020H9154	LATITUDE 45D 1M 59S LONGITUDE 73D 1M 59S Riv. de la Roche, sous le pont entre Saint-Armand-Station et Mitchell Corners
00QU020H9155	LATITUDE 45D 1M 0S LONGITUDE 73D 3M 0S Riv. de la Roche à la frontière lorsqu'elle retourne au États-Unis
01QU020H9156	LATITUDE 45D 2M 30S LONGITUDE 73D 5M 30S Lac Champlain, baie Missisquoi à 1250 mètres à l'ouest de Philipsburg
01QU020H9157	LATITUDE 45D 2M 30S LONGITUDE 73D 7M 59S Lac Champlain, baie Missisquoi au centre de la baie.
01QU020H9158	LATITUDE 45D 4M 0S LONGITUDE 73D 9M 0S Lac Champlain, au centre de la baie de Venise-en-Québec
02WQU020H9159	LATITUDE 45D 3M 29S LONGITUDE 73D 6M 29S Lac Champlain, baie Missisquoi à 1 km de l'embouchure de la riv. aux Brochets
00US020H9160	LATITUDE 44D 59M 44S LONGITUDE 73D 4M 19S Riv. de la Roche à environ 2 km en aval de son embouchure
00QU020H9161	latitude 45D 1M 3S LONGITUDE 73D 1M 0S Riv. de la Roche à son entrée au Québec sur la frontière
00QU020H9162	LATITUDE 45D 7M 6S LONGITUDE 73D 4M 44S Ruisseau Ewing entre les deux ponts, à son embouchure

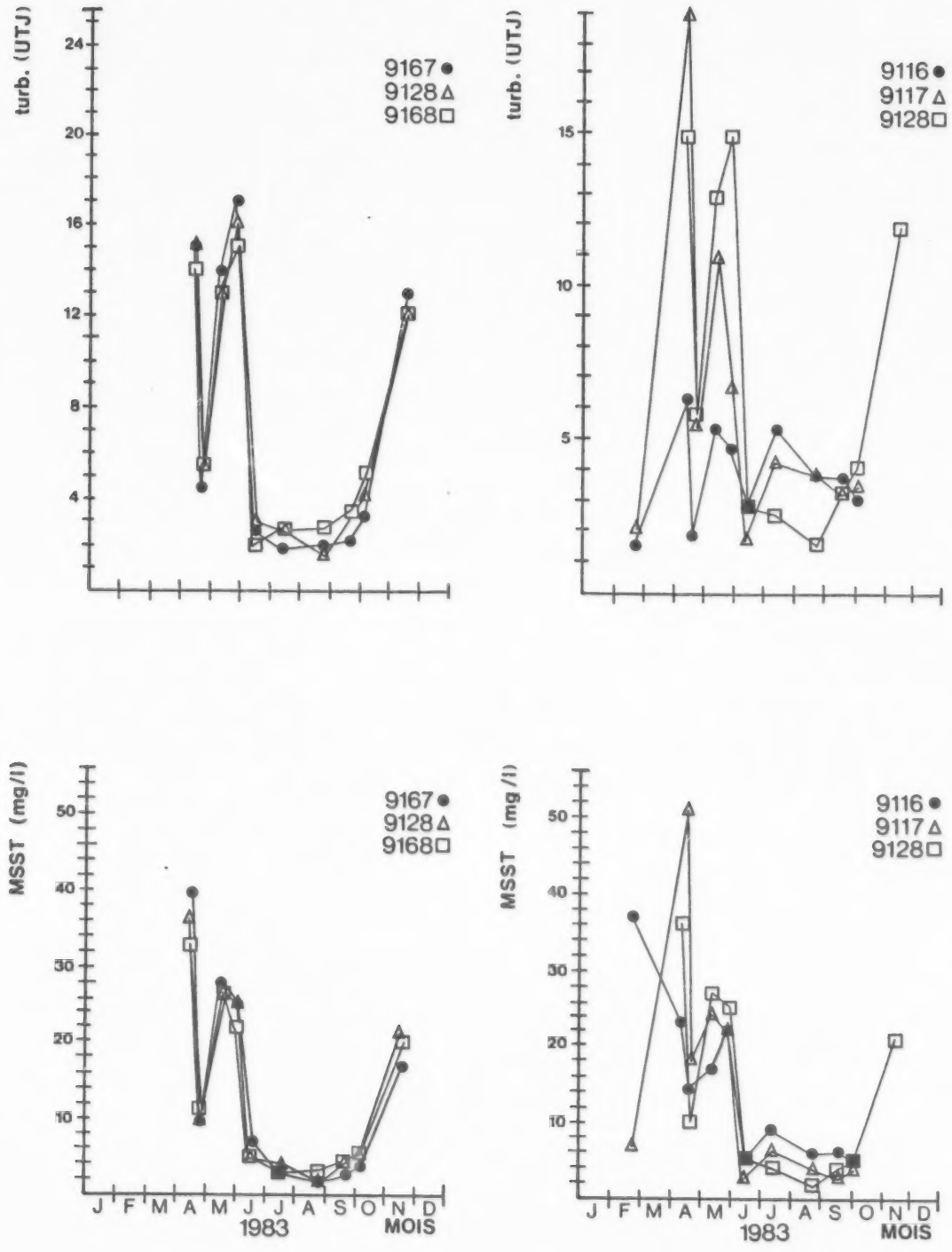
NO. NAQUADAT	LOCALISATION ET DESCRIPTION DES STATIONS
00QU020H9163	LATITUDE 45D 4M 30S LONGITUDE 73D 5M 31S Riv. aux Brochets à son embouchure en amont du ruisseau Crique Noire, rive droite
00QUI020H9164	LATITUDE 45D 4M 30S LONGITUDE 73D 5M 27S Riv. aux Brochets à son embouchure en amont du ruisseau Crique Noire, rive gauche
00QU020H9165	LATITUDE 45D 7M 18S LONGITUDE 73D 3M 2S Ruisseau au Castor près de l'intersection de la route 202 à l'est de Pike-River
00QU020H9166	LATITUDE 45D 6M 15S LONGITUDE 73D 4M 42S Embouchure du ruisseau au Castor
00US020H9167	LATITUDE 44D 56M 19S LONGITUDE 73D 7M 22S Rivière Missisquoi à environ 1,5 km en aval du barrage de Swanton, rive droite
00US020H9168	LATITUDE 44D 56M 19S LONGITUDE 73D 7M 26S Rivière Missisquoi à environ 1,5 km en aval du barrage de Swanton, rive gauche
00US020H9169	LATITUDE 44D 59M 44S LONGITUDE 73D 4M 19S Rivière de la Roche à environ 2 km en aval de son embouchure, rive droite
00US020H9170	LATITUDE 44D 59M 43S LONGITUDE 73D 4M 19S Rivière de la Roche à environ 2 km en aval de son embouchure, rive gauche

ANNEXE 2

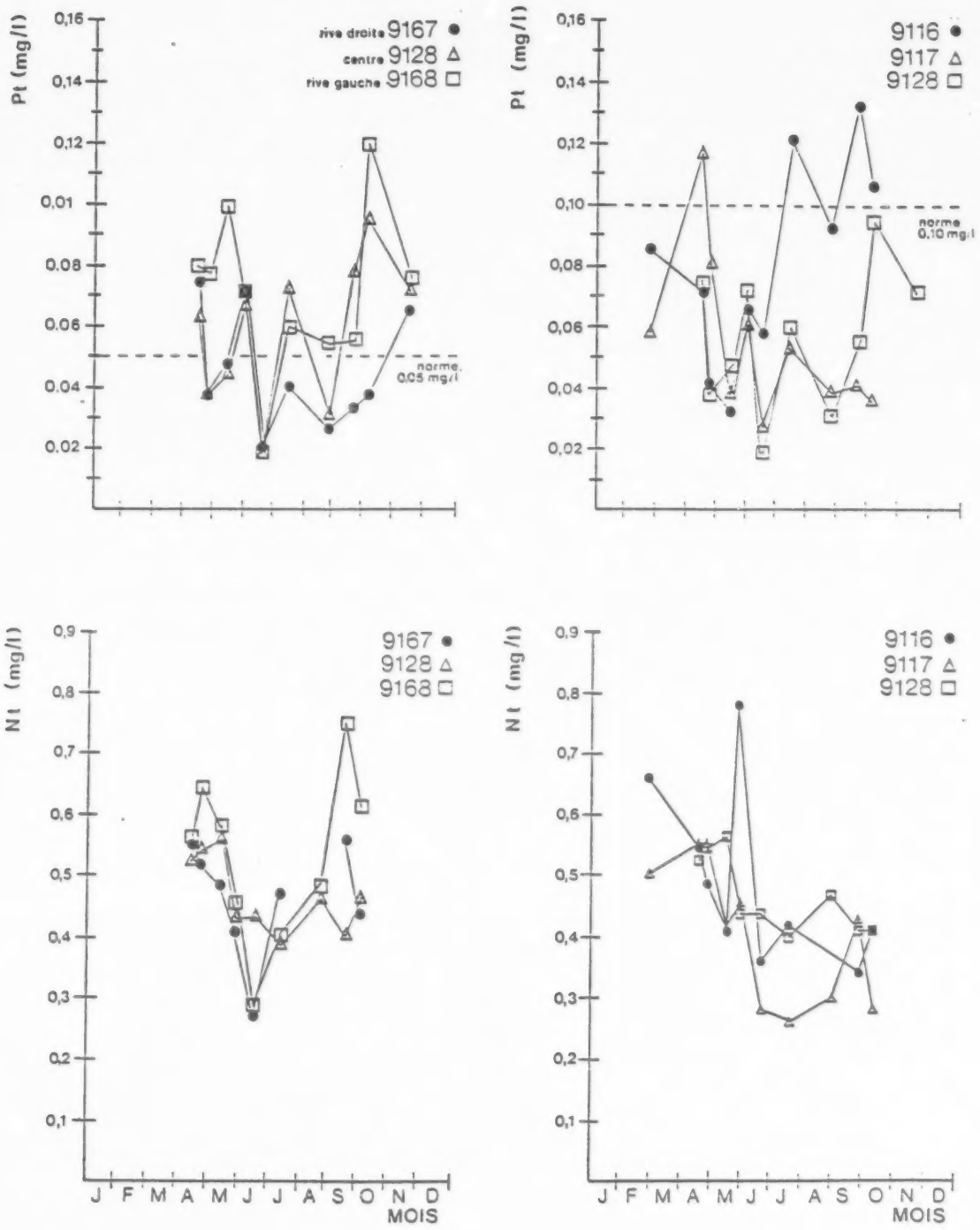
VARIATIONS TEMPORELLES ET SPATIALES DE DIFFERENTS PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES EN 1983



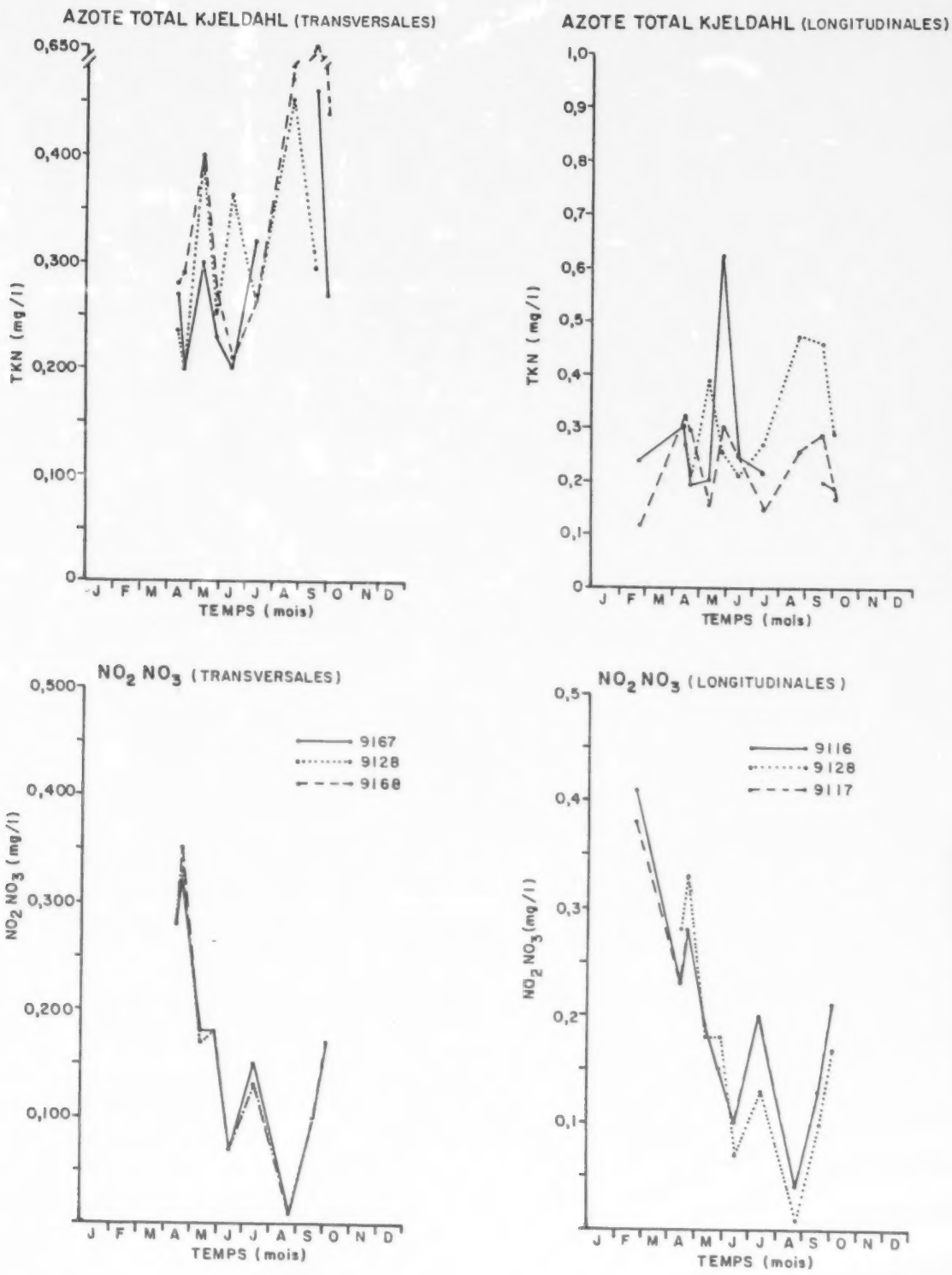
Variations temporelles des valeurs de pH et de conductivité de la Rivière Missisquoi en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



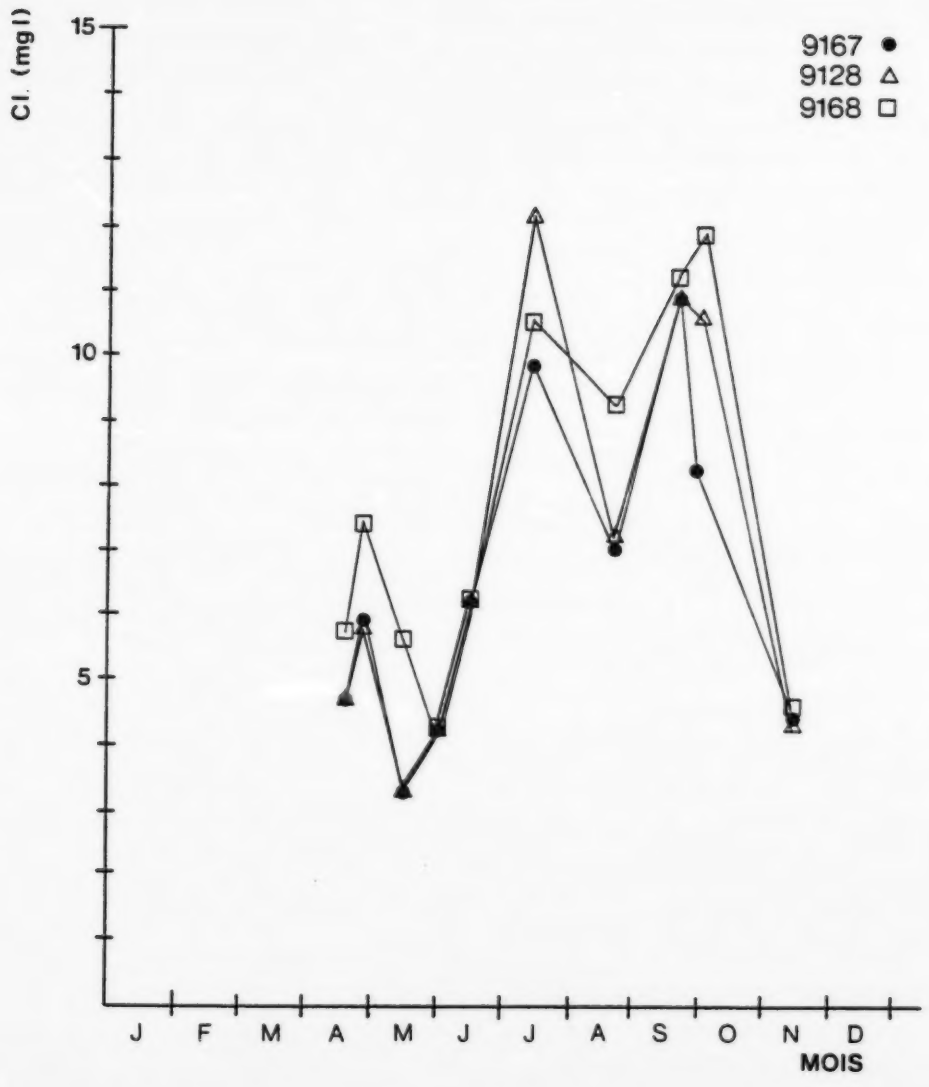
Variations temporelles des valeurs de turbidité et de matières solides en suspension totales de la rivière Missisquoi en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



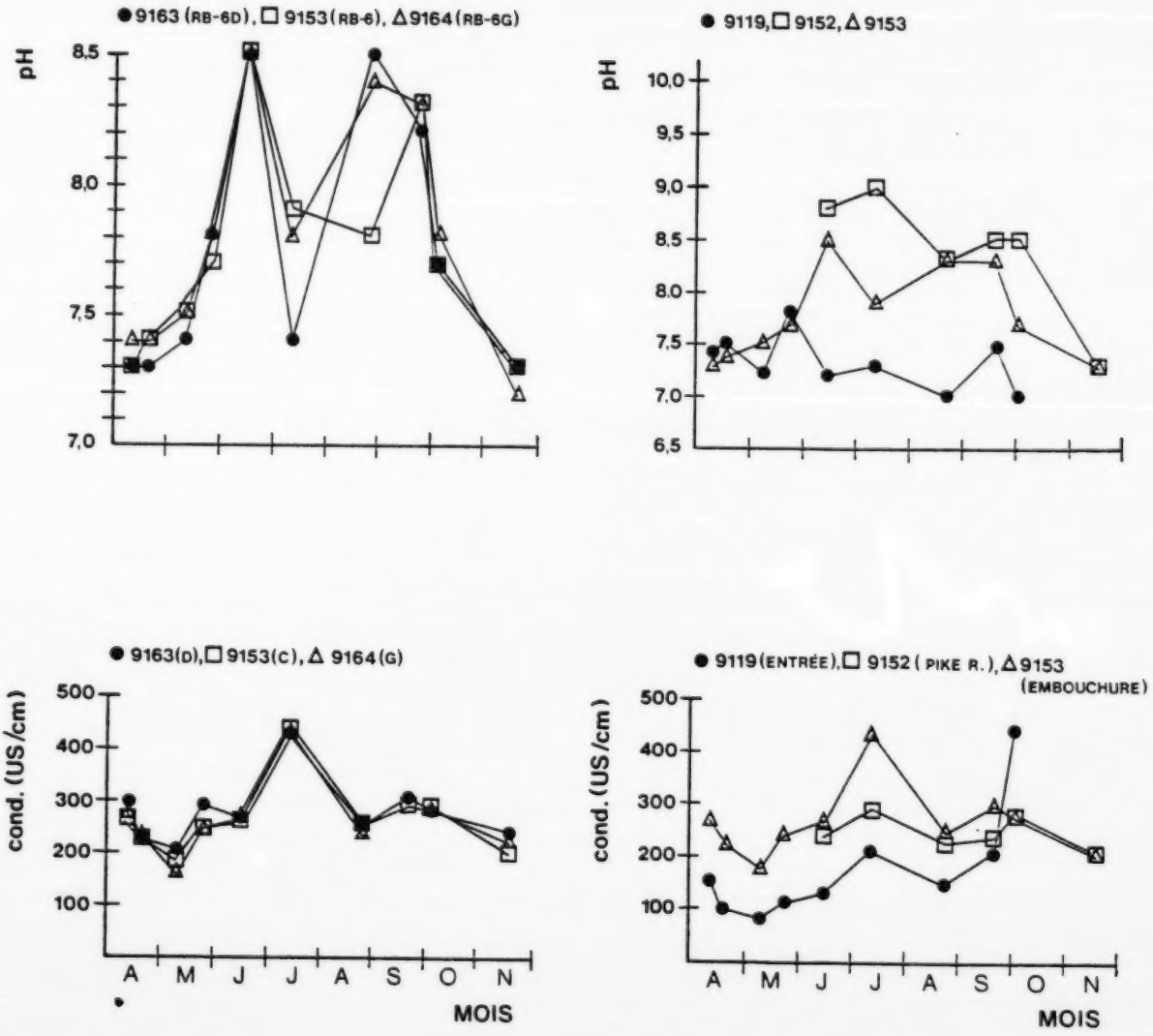
Variations temporelles des valeurs de phosphore total et d'azote total de la rivière Missisquoi en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



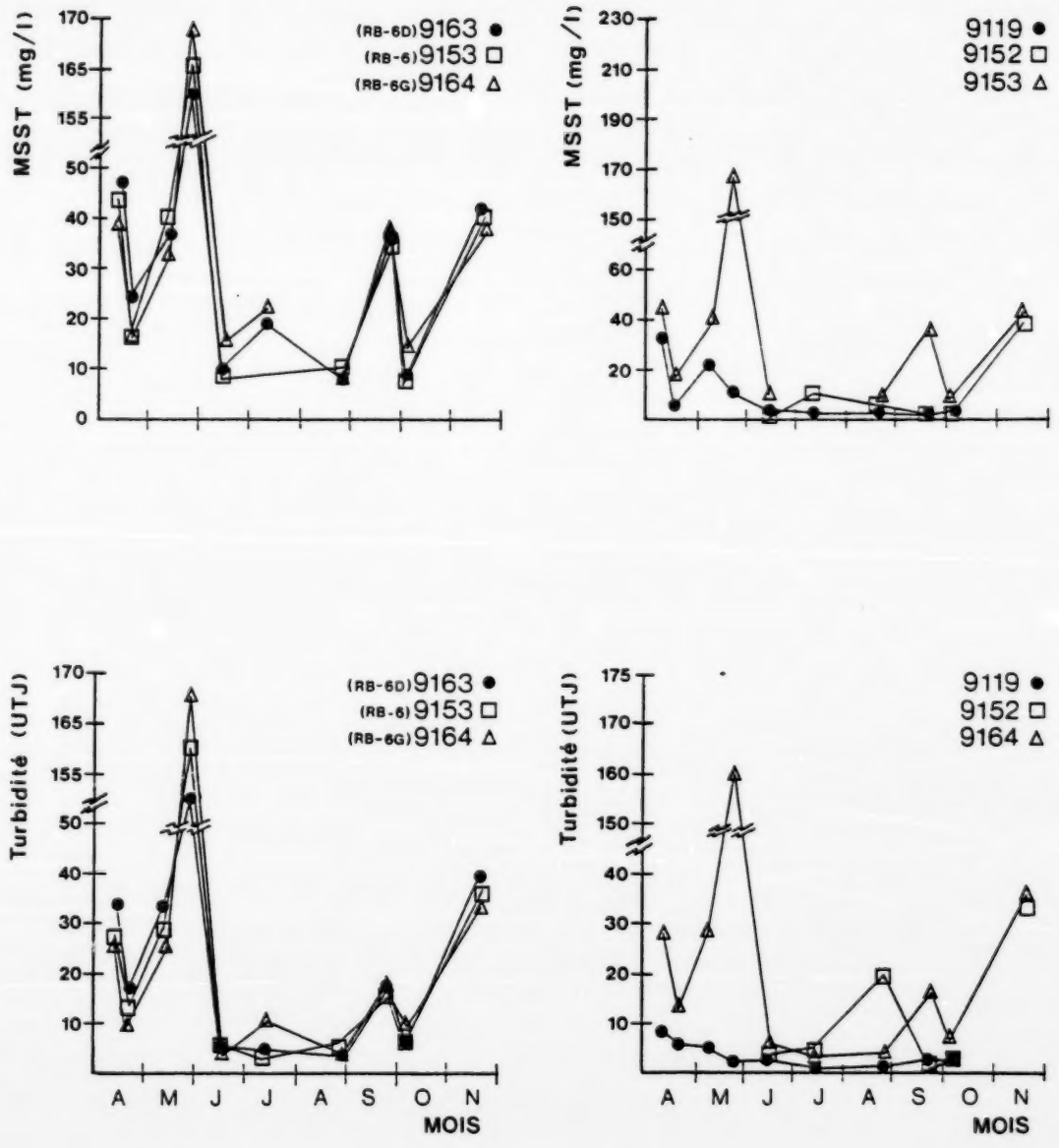
Variations temporelles des valeurs de l'azote total Kjeldahl et de nitrites nitrates de la rivière Missisquoi en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinale).



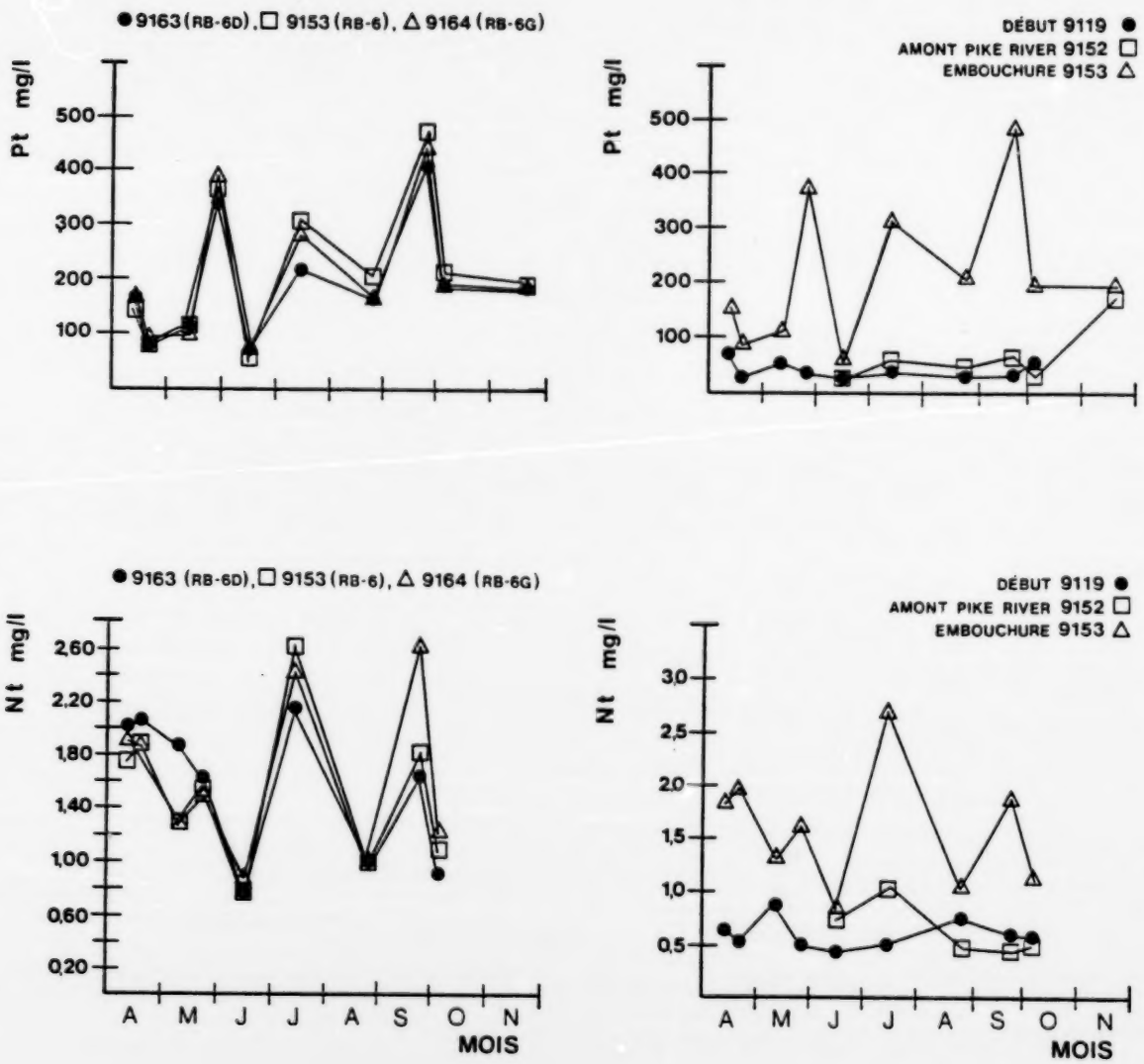
Variations temporelles des valeurs de chlorures à l'embouchure de la rivière Missisquoi en 1983.



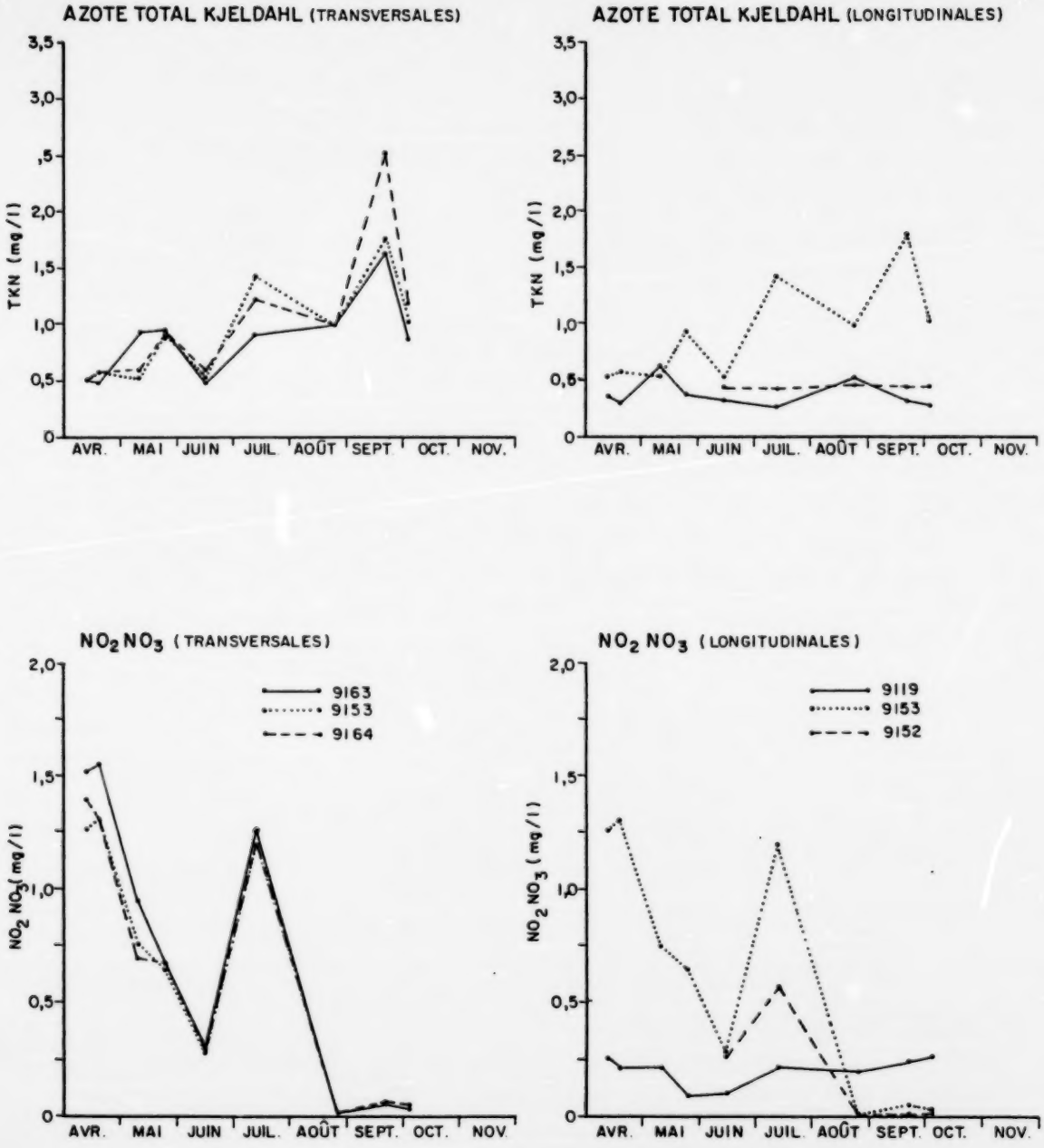
Variations temporelles des valeurs de pH et de conductivité de la rivière aux Brochets en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



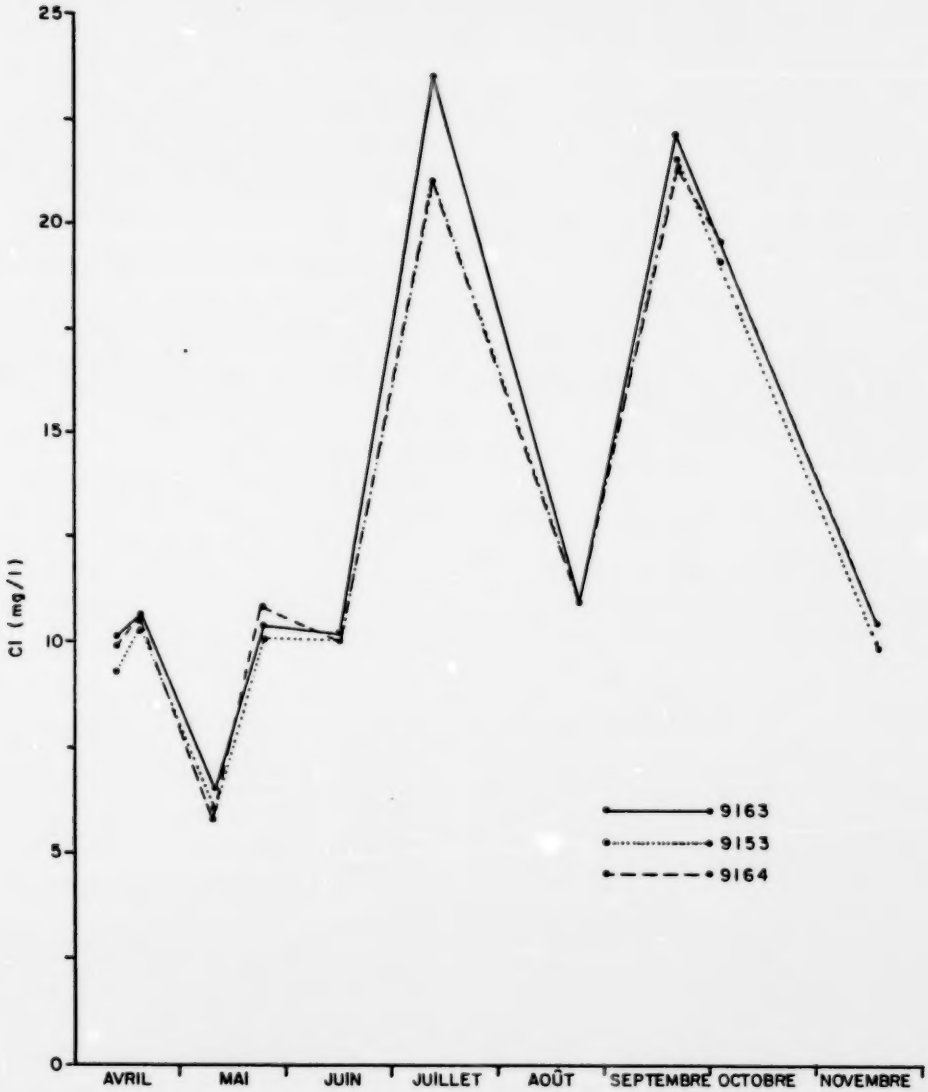
Variations temporelles des valeurs de matières solides en suspension totales et de turbidité de la rivière aux Brochets en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



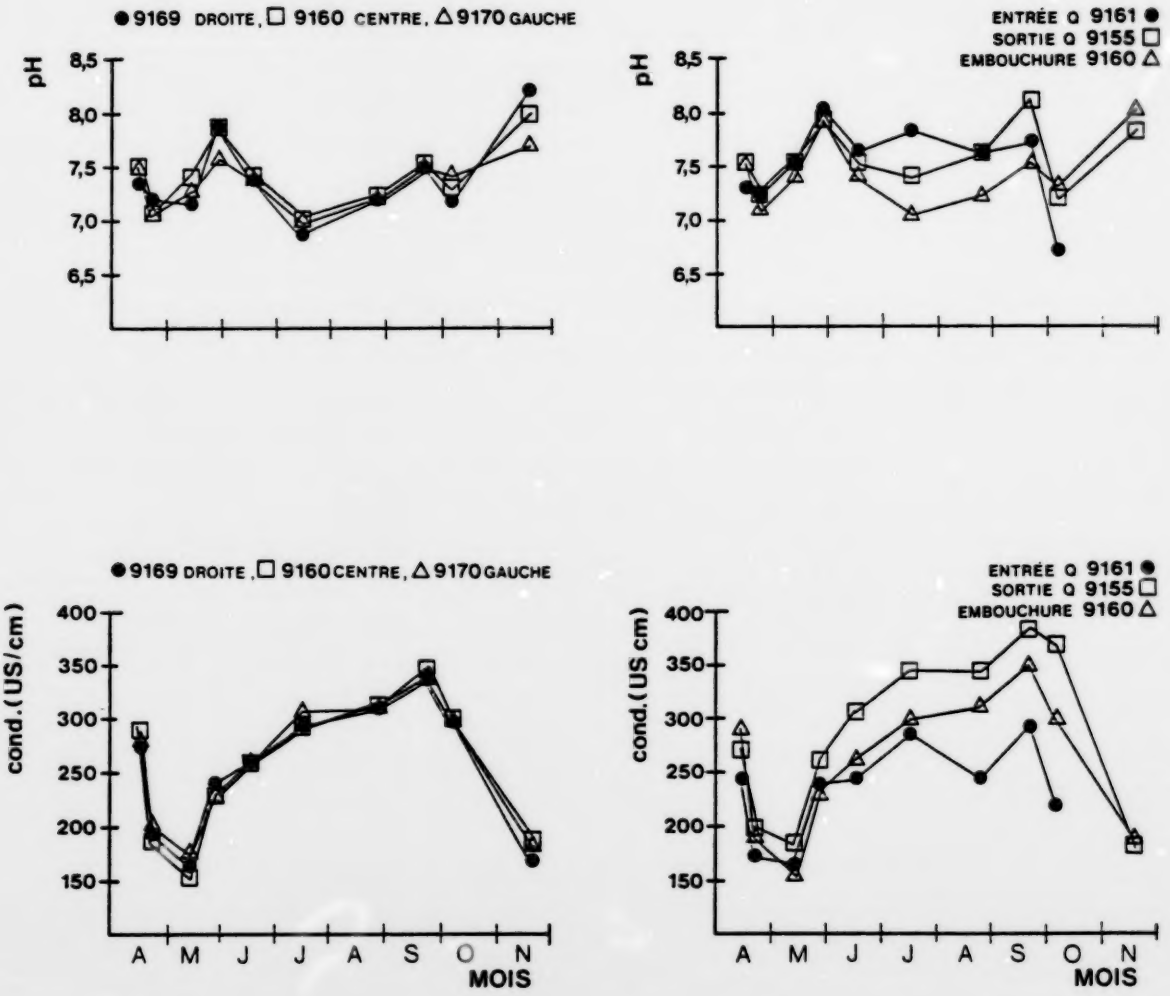
Variations temporelles des valeurs de phosphore total et d'azote total de la rivière aux Brochets en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



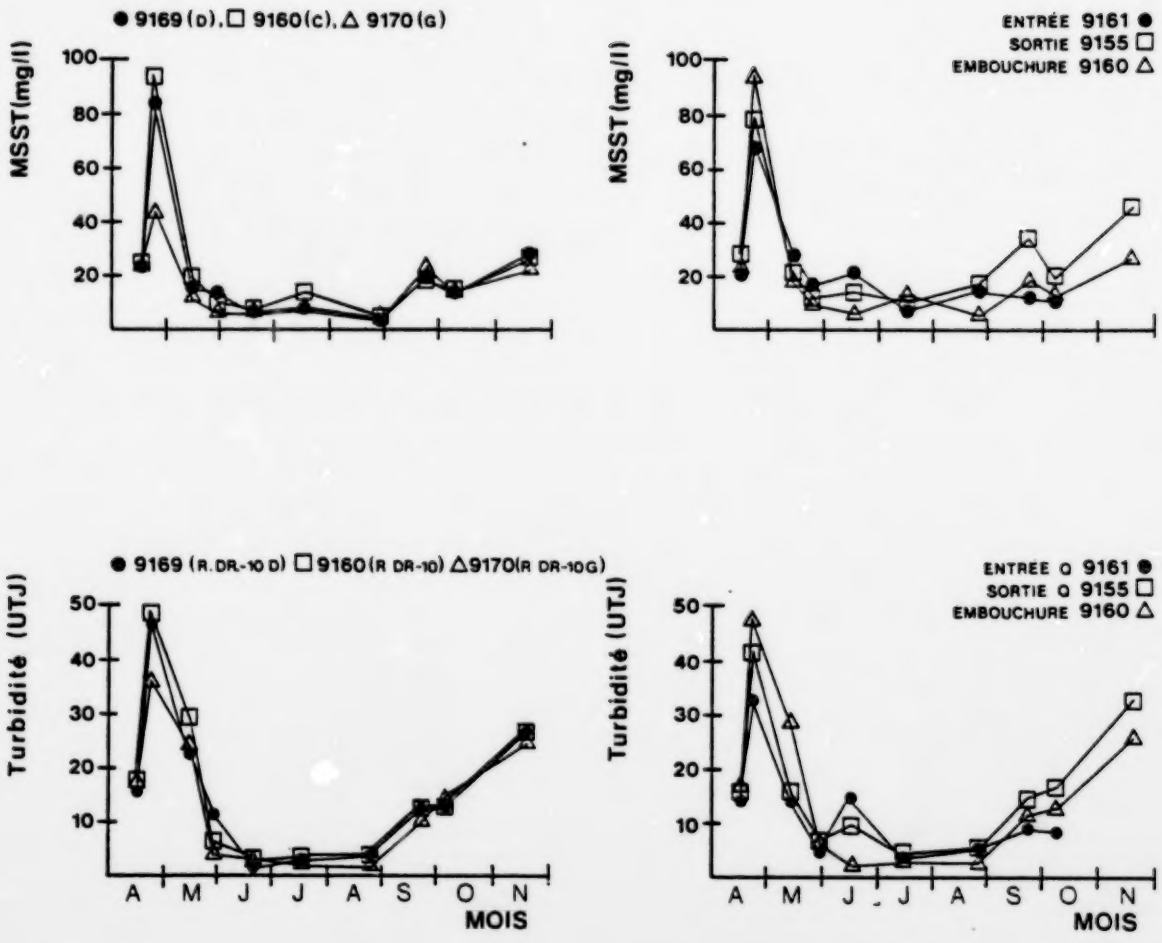
Variations temporelles des valeurs d'azote total Kjeldahl et de nitrites-nitrates de la rivière aux Brochets en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



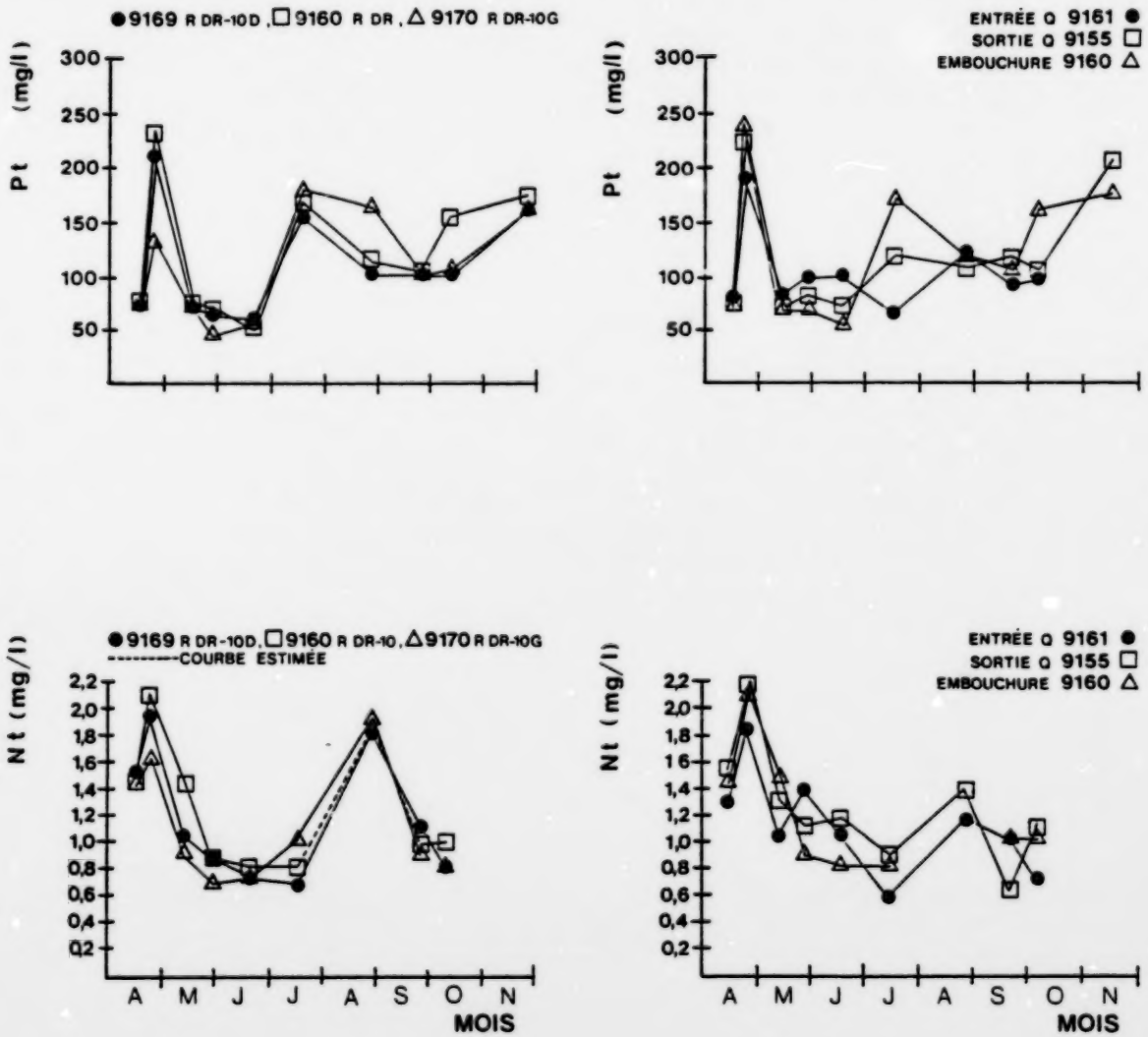
Variations temporelles des valeurs de chlorures à l'embouchure de la rivière aux Brochets en 1983.



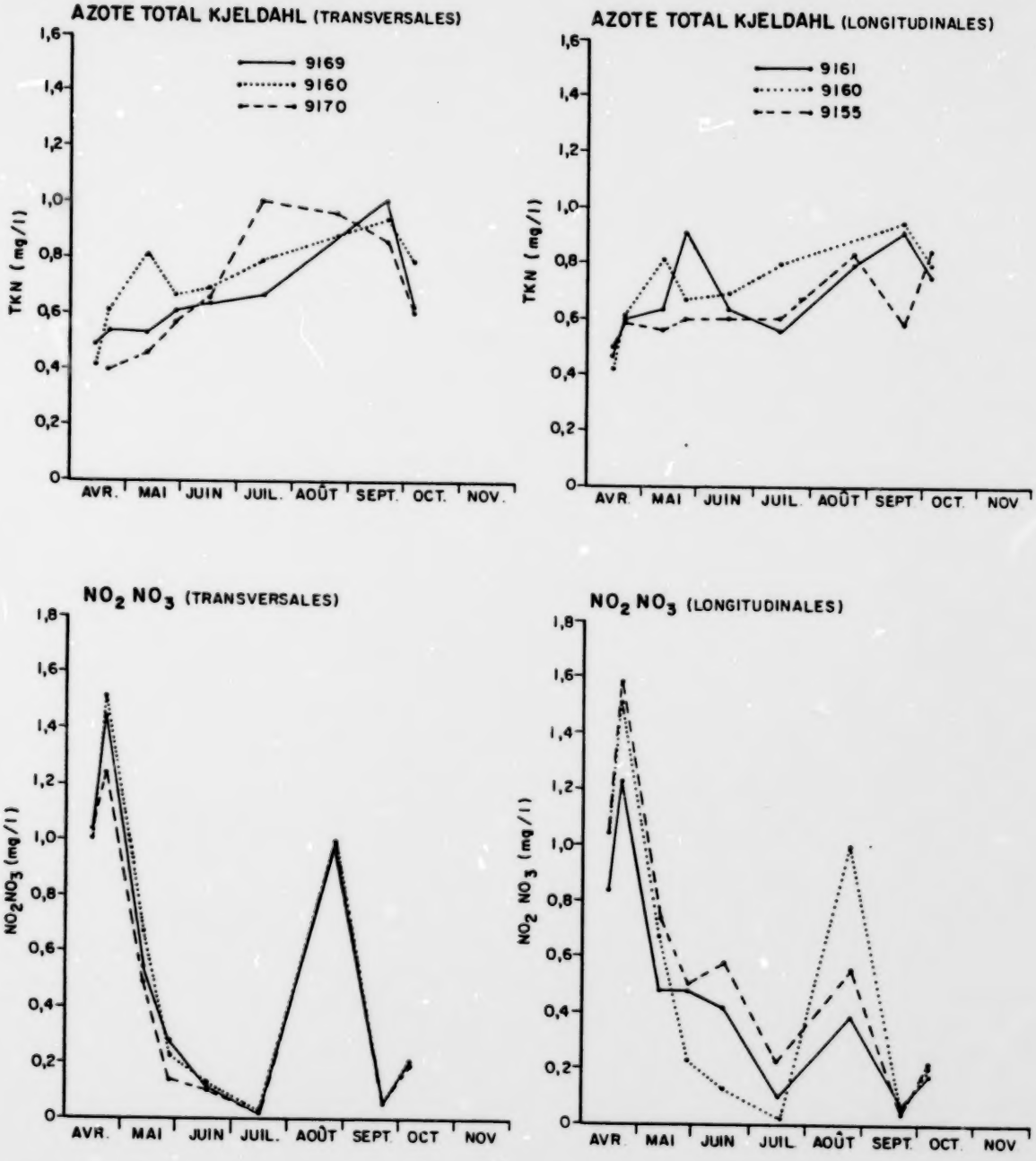
Variations temporelles des valeurs de pH et de conductivité de la rivière de la Roche en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



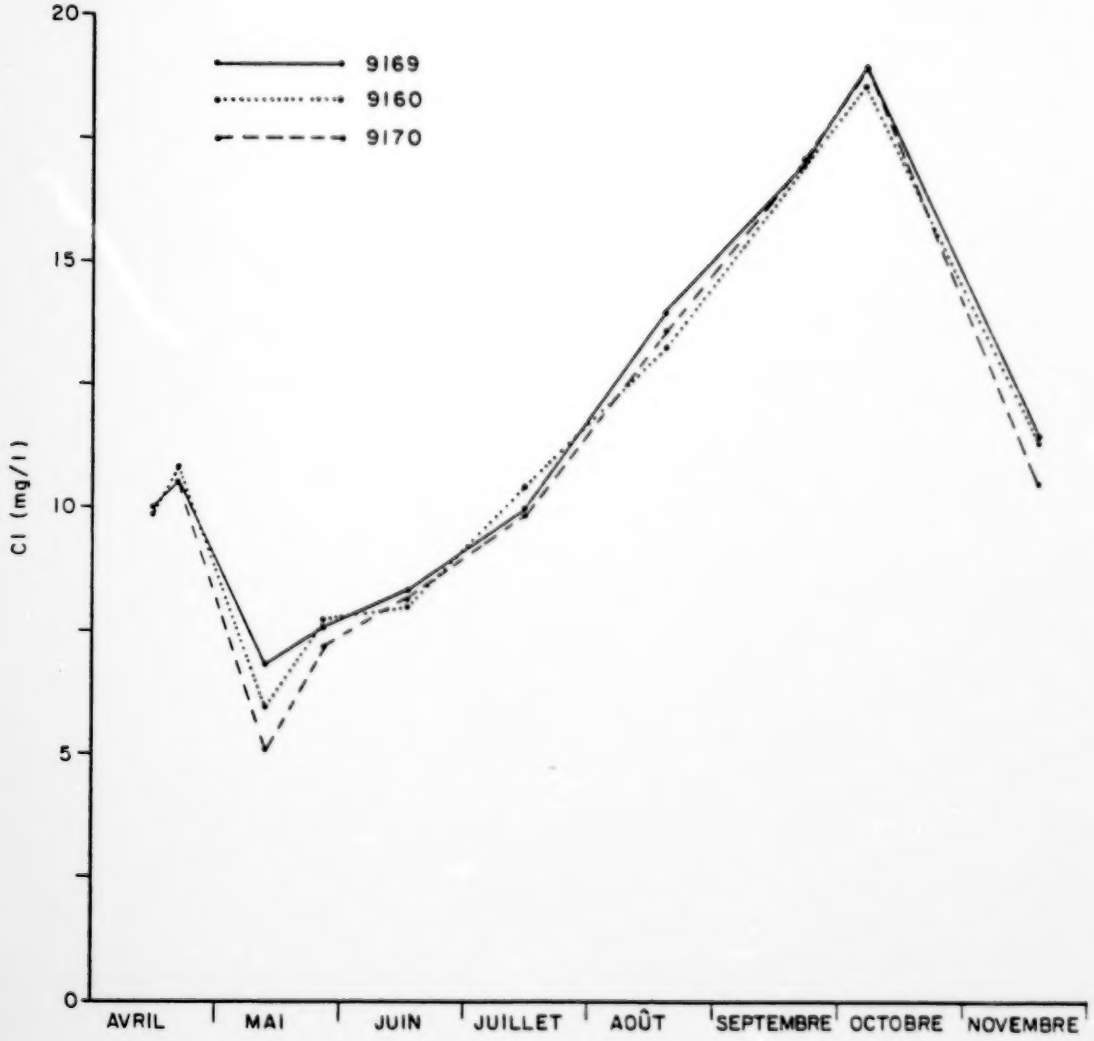
Variations temporelles des valeurs de matières solides en suspension totales et de turbidité de la rivière de la Roche en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



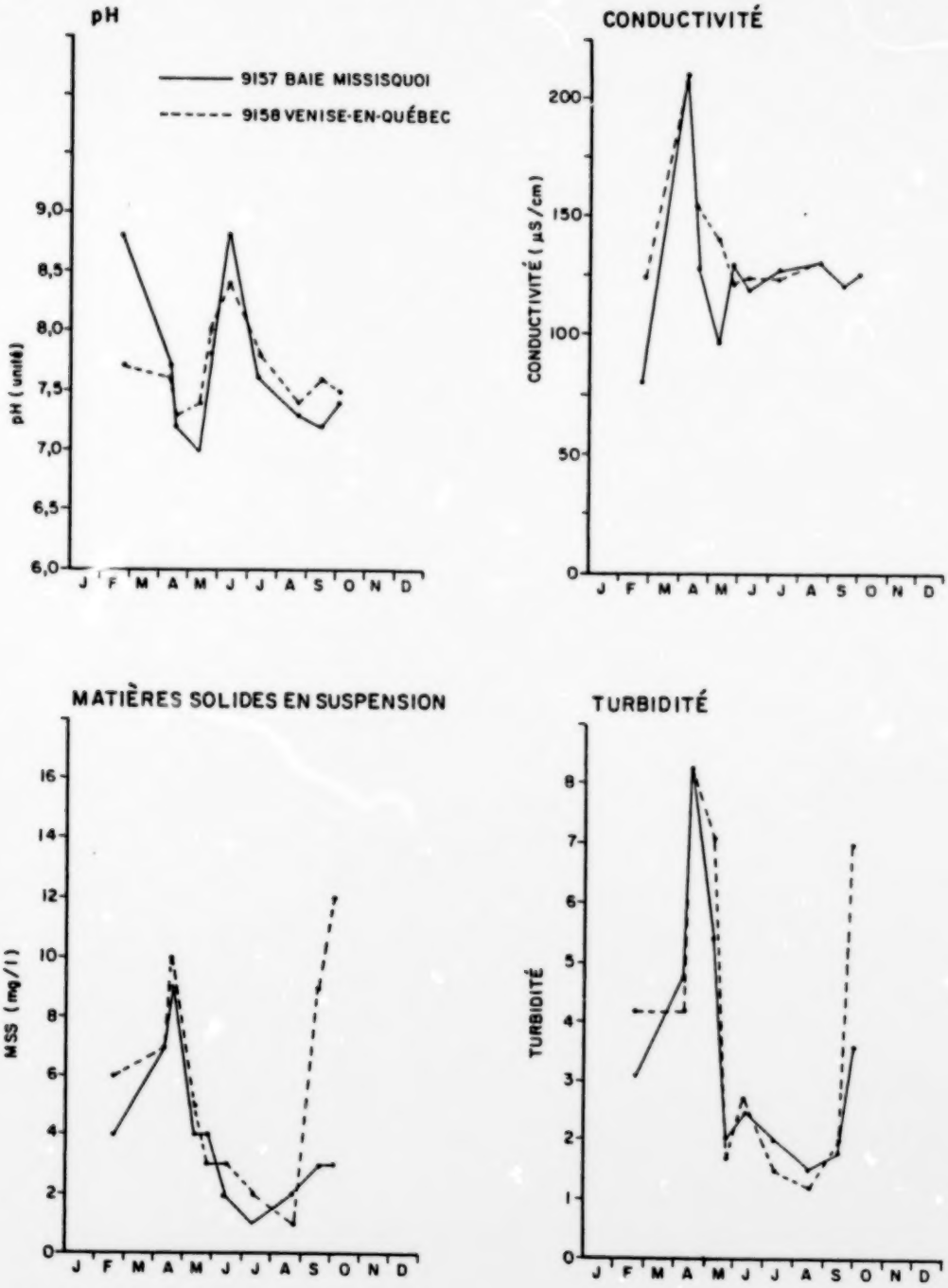
Variations temporelles des valeurs de phosphore total et d'azote total de la rivière de la Roche en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



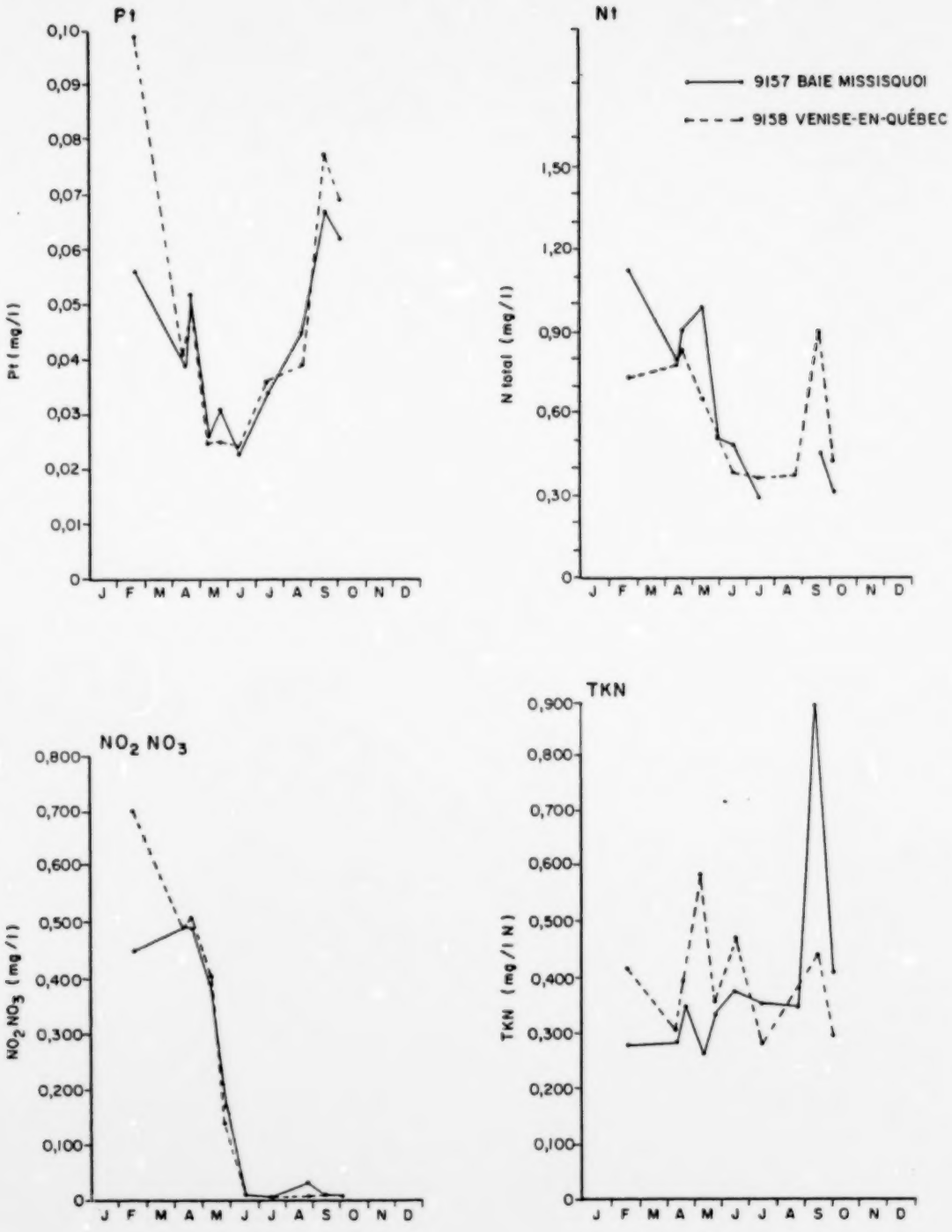
Variations temporelles des valeurs d'azote total Kjeldahl et de nitrites-nitrates de la rivière de la Roche en 1983 (à gauche: embouchure; à droite: longitudinal).



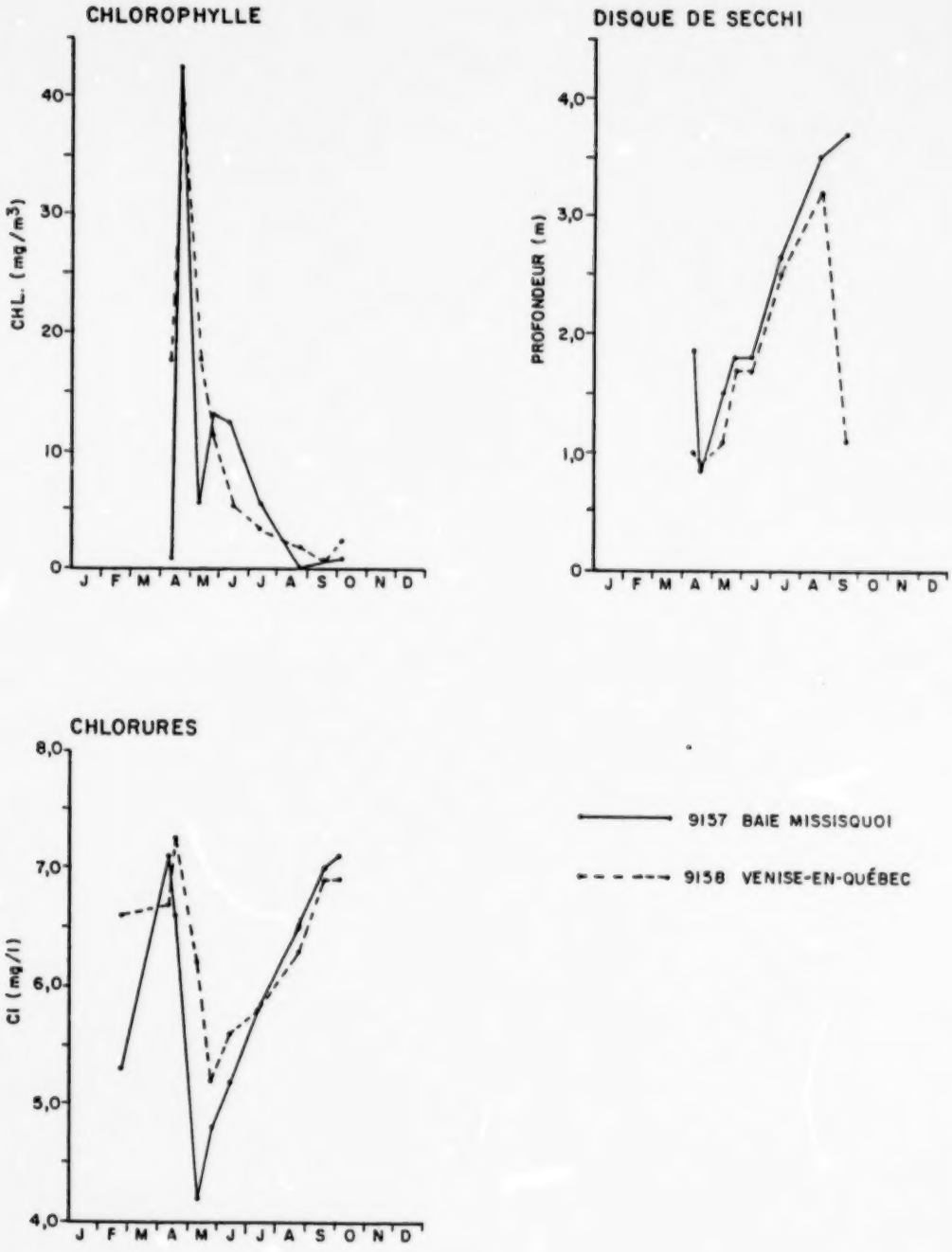
Variations temporelles des valeurs de chlorures à l'embouchure de la rivière de la Roche en 1983.



Variations temporelles des valeurs de pH, de conductivité, de matières solides en suspension et de turbidité de la baie Missisquoi en 1983.



Variations temporelles des valeurs de phosphore total, d'azote total, de nitrites-nitrates et d'azote total Kjeldahl de la baie Missisquoi en 1983.



Variations temporelles des valeurs de chlorophylle, de transparence au disque de Secchi et de chlorures de la baie Missisquoi en 1983.